

УДК 502.174.3

*А.С. Маюрова, М.А. Кустикова, Е.А. Быковская, А.В. Ступников***АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ  
ДЛЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ МОСТА  
ЧЕРЕЗ КЕРЧЕНСКИЙ ПРОЛИВ**

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет  
информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО),  
Shushka96@gmail.com

*A.S. Maiurova, M.A. Kustikova, E.A. Bykovskaia, A.V. Stupnikov***ALTERNATIVE SOURCE OF ENERGY FOR LIGHTENING  
SYSTEMS OF THE BRIDGE ACROSS THE KERCH STRAIT**

Статья посвящена поиску эффективных решений обеспечения электроэнергией осветительной системы мостового перехода через Керченский пролив. Приводится анализ фотовольтаических возможностей Крымского полуострова. Исследуется проект моста через Керченский пролив и обосновывается выбор нескольких видов систем освещения моста. Выполняется энергетический и стоимостной расчет систем освещения. Производится расчет окупаемости итоговой системы. Предложенные варианты осветительных систем можно использовать на любых мостовых переходах в регионах с высокой инсоляцией.

**Ключевые слова:** солнечная энергетика, фотоэлектрический преобразователь, системы освещения, расчет систем освещения.

The article is devoted to finding effective solutions to provide electricity to the lighting system of the bridge crossing the Kerch Strait. It provides the analysis of photovoltaic capabilities of the Crimean peninsula. The project of the bridge across the Kerch Strait is investigated and the choice of several types of lighting systems is justified. Energy and cost calculation of lighting systems has been carried out. Payback calculation of the final system has been produced. Proposed options for lighting systems can be used on any of bridge crossings in the areas of high solar insolation.

**Keywords:** Solar energy, photoelectric converter, the lighting system, the calculation of lighting systems.

**Введение**

Мостовой переход через Керченский пролив является одним из самых ожидаемых проектов в нашей стране. Сложность его реализации связана с масштабом проекта, большими финансовыми затратами, трудными условиями строительства и возможным влиянием на акваторию. В условиях локального, или регионального, энергетического кризиса, вызванного нарушением подачи электроэнергии, необходимо использовать оптимальные технические решения проблем энергообеспечения на основе использования альтернативных источников энергии с учетом местных природных факторов. Высокая степень инсоляции региона позволяет успешно применять солнечные ячейки для выработки электроэнергии. Благодаря энергообеспечению осветительной системы при помощи солнечных панелей можно значительно снизить энергозатраты региона.

Проблема энергодефицита существовала на полуострове еще в то время, когда Крым входил в состав Украины. В мае 2016 г. был достроен Энергомост в Крым, по проекту он должен обеспечить 840 МВт электроэнергии. По прогнозам энергопотребление моста через Керченский пролив составит 2 МВт.

Целью данной работы является поиск эффективных решений обеспечения электроэнергией осветительной системы мостового перехода через Керченский пролив. По итогам работы планируется предоставить результаты застройщикам проекта моста.

По утвержденному проекту общая длина моста составляет 19 км. Автомобильный мост состоит из четырех полос движения с расчетной скоростью движения автомобилей 120 км/ч. В декабре 2018 г. планируется открыть движение по мосту в рабочем режиме, а в 2019 г. – ввести мост в полную эксплуатацию [1].

### **Альтернативные источники энергии**

Гелиоэнергетика, или солнечная энергетика, в настоящее время является одной из самых перспективных направлений альтернативной энергетики. С развитием технологий стоимость на солнечные элементы падает, а их КПД растет, что делает солнечные батареи весьма перспективной отраслью [5].

Высокая степень инсоляции Керченского региона позволяет успешно использовать солнечные панели для выработки электричества. На сегодняшний день в Крыму уже работают такие солнечные электростанции, как «Николевка», «Перово», «Охотниково» и «Митяево». Две из них («Охотниково», мощностью 82,65 МВт и «Перово» – 105,56 МВт) входят в десятку крупнейших солнечных электростанций мира.

### **Энергетический расчет солнечных панелей**

При установке фонарных столбов расстояние между опорами освещения устанавливается исходя из количества, мощности и высоты установки осветительных фонарей, установленных на опоре. Расчет расстояния между опорами освещения выполняется на основании норм освещенности дорог (табл. 1) [3].

*Таблица 1*

Нормы освещенности дорог по СНиП 23-05-95

Категория объекта	Улицы, дороги и площади	Наибольшая интенсивность движения транспорта в обоих направлениях, ед./ч	Средняя яркость покрытия, Кд/м <sup>2</sup>	Средняя горизонтальная освещенность покрытия, лк
А	Магистральные дороги, магистральные улицы общегородского значения	Св. 3000	1,6	20
		Св. 1000 до 3000	1,2	20
		От 500 до 1000	0,8	15
Б	Магистральные улицы районного значения	Св. 2000	1,0	15
		Св. 1000 до 2000	0,8	15
		От 500 до 1000	0,6	10
		Менее 500	0,4	10
В	Улицы и дороги местного значения	500 и более	0,4	6
		Менее 500	0,3	4
		Одиночные автомобили	0,2	4

Поскольку на данный момент информация о выбранном типе освещения мостовой переправы через Керченский пролив отсутствует, то будет целесообразно рассмотреть несколько случаев. Возьмем для расчета три вида осветительных систем с различными типами источника света:

- с металлогалогенной лампой ГКУ21-250-012;
- со светодиодами «Волна LED-200-ШО/У»;
- с дуговой натриевой трубчатой лампой ЖКУ08-250-001.

Светодиодные системы освещения считаются менее энергозатратными, так как при меньшей мощности потребления их мощность излучения остается на уровне других источников излучения. У рассматриваемой светодиодной системы номинальная мощность составляет 200 Вт, у двух остальных – 250 Вт.

Рассчитаем расстояние  $l$  между опорами освещения исходя из норм освещенности. Необходимо чтобы средняя яркость покрытия была равна  $1,6 \text{ Кд/м}^2$  [3].

Все данные об осветительных системах, световых потоках, стоимости систем были взяты из открытых источников.

Средняя яркость  $L_{\text{ср}}$  определяется по формуле:

$$L_{\text{ср}} = \frac{rI_{\text{ср}}}{S\pi}, \quad (1)$$

где  $r$  – коэффициент яркости;  $I_{\text{ср}}$  – средняя сила света;  $S$  – площадь поверхности дороги между опорами.

Коэффициенты яркости  $r$  определяются путем интерполяции табличных значений этих коэффициентов, определенных в ГОСТ 26824-2010 «Здания и сооружения. Методы измерения яркости» и указаны в табл. 2.

Средняя сила света  $I_{\text{ср}}$  определяется по следующей формуле:

$$I_{\text{ср}} = \frac{\Phi}{4\pi},$$

где  $\Phi$  – световой поток, указанный в табл. 2.

Мост через Керченский пролив по проекту состоит из четырех полос, ширина каждой полосы равна 3,75 м. Следовательно, ширина  $m$  дороги в одну сторону равна 7,5 м. Из формулы (1) площадь  $S$  равна:

$$S = \frac{rI_{\text{ср}}}{L_{\text{ср}}\pi}. \quad (2)$$

Из формулы (2) найдем искомое расстояние  $l$ :

$$l = \frac{rI_{\text{ср}}}{L_{\text{ср}}\pi m}.$$

Полученные расстояния в табл. 2. Как видно из данной таблицы, наиболее высокая стоимость – у осветительных приборов со светодиодами, однако срок службы светодиодных систем по сравнению с номинальным сроком службы ламп в среднем в 50 раз больше.

Сравнительные характеристики осветительных приборов

Показатель	ГКУ21-250-011	Волна LED-200-ШО/У	ЖКУ08-250-001
Тип источника света	Металлогалогенная лампа	Светодиоды	Дуговая натриевая трубчатая лампа
Мощность, Вт	250	200	250
Коэффициент яркости	1,12	1,2	0,73
Световой поток, Лм	20 000	18 500	30 000
Требуемое расстояние между столбами, м	45,5	47,4	49,5
Стоимость за шт., руб.	6296	35 396	4170
Необходимое количество, шт.	836	800	768
Стоимость итого, руб.	5 263 456	28 316 800	3 202 560

На данном этапе работы мы выдвинем гипотезу о том, что за счет высокого срока работы осветительная система, которая содержит светодиоды, может окупиться наравне с более дешевыми системами.

Для выполнения энергетического расчета солнечных панелей нам необходимо рассчитать расход энергии осветительной системы. Номинальная мощность ламп составляет 250 Вт, средняя длина светового дня в Керчи – 12 часов, итого в среднем расход энергии осветительной системы составляет 3 кВт/ч. Самым темным месяцем является декабрь, длина светового дня составляет всего 9 часов. Следовательно, максимальный расход энергии составляет 3,75 кВт/ч.

Для светодиодов номинальная мощность составляет 200 Вт, следовательно, средний расход энергии составляет 2,4 кВт/ч.

### Энергетический расчет солнечных элементов

Для начала рассчитаем выработку фотоэлектрической панели по формуле:

$$E_{сб} = \frac{E_{инс} P_{сб} \eta}{P_{инс}},$$

где  $E_{инс}$  – среднемесячная инсоляция;  $P_{сб}$  – номинальная мощность солнечной батареи;  $\eta$  – общий КПД передачи электрического тока по проводам,  $P_{инс}$  – максимальная мощность инсоляции квадратного метра земной поверхности (1000 Вт).

Следовательно, зная среднемесячные данные инсоляции для региона Керчи, можно оценить необходимую мощность солнечной панели для энергообеспечения осветительной системы:

$$P_{сб} = \frac{P_{инс} E_{сб}}{E_{инс} \eta}.$$

Показатели среднемесячной инсоляции в районе Керчи представлены в табл. 3 [4]. Общий КПД  $\eta$  при достаточно толстых и коротких проводах можно приравнять к единице и в дальнейшем не учитывать, а минимальный показатель  $E_{инс}$  должен быть больше максимального расхода энергии осветительной системы,

т. е. 3,75 кВт/ч – для металлогалогенной и дуговой натриевой трубчатой лампы и 2,4 кВт/ч – для светодиодных ламп.

Полученные показатели среднемесячной выработки солнечных панелей для металлогалогенной и дуговой натриевой трубчатой лампы также находятся в табл. 3, для светодиодных ламп – в табл. 4.

*Таблица 3*  
Показатели среднемесячной инсоляции Керчи  
и выработка солнечных батарей для металлогалогенной  
и дуговой натриевой трубчатой лампы

Месяц	Среднемесячная инсоляция, МДж/м <sup>2</sup>	Выработка солнечных батарей, кВт·ч
Январь	126	6,3
Февраль	190	9,5
Март	333	16,65
Апрель	464	23,2
Май	647	32,35
Июнь	672	33,6
Июль	678	33,9
Август	597	29,85
Сентябрь	429	21,45
Октябрь	276	13,8
Ноябрь	126	6,3
Декабрь	80	4

Исходя из данных табл. 3, необходимая мощность солнечных панелей составляет 200 Вт. При данной мощности минимальное значение энергии, которое будет поставляться для обеспечения осветительной системы, составляет 4 кВт/ч.

Из табл. 4 необходимая мощность солнечных панелей составляет 140 Вт. Минимальное значение энергии составляет 2,8 кВт/ч.

*Таблица 4*  
Показатели среднемесячной инсоляции Керчи  
и выработка солнечных батарей для светодиодных ламп

Месяц	Среднемесячная инсоляция, МДж/м <sup>2</sup>	Выработка солнечных батарей, кВт·ч
Январь	126	4,41
Февраль	190	6,65
Март	333	11,655
Апрель	464	16,24
Май	647	22,645
Июнь	672	23,52
Июль	678	23,73
Август	597	20,89
Сентябрь	429	15,02
Октябрь	276	9,66
Ноябрь	126	4,41
Декабрь	80	2,8

**Расчет окупаемости системы**

Данные о характеристиках солнечных панелей показаны в табл. 5, где указаны только монокристаллические кремниевые солнечные элементы, так как именно они обладают высокими показателями КПД и меньшей площадью [2].

*Таблица 5*

Характеристики систем монокристаллических кремниевых солнечных батарей

Показатель	Мощность	
	200 Вт	140 Вт
Площадь, м <sup>2</sup>	1,2	0,65
Стоимость системы за 1 шт., руб.	19 950	12 950
Итоговая стоимость с МГЛ, руб.	21 941 656	
Итоговая стоимость со светодиодами, руб.		38 676 800
Итоговая стоимость с ДНТЛ, руб.	18 524 160	

Стоимость электроэнергии в Керчи составляет 4,95 рублей за 1 кВт/ч. Исходя из этих данных, можно рассчитать время окупаемости осветительных систем, питающихся от энергии Солнца (табл. 6).

Стоимость электроэнергии за освещение моста в год, при средней длине светового дня 12 часов:

$$Q = Pn12 \cdot 365 \cdot 4,95, \tag{3}$$

где  $P$  – мощность ламп;  $n$  – количество ламп.

В стоимость электроэнергии не входит стоимость обслуживания системы, так как обслуживание будет производиться вне зависимости от выбора систем.

*Таблица 6*

Окупаемость системы с заменой систем освещения

Тип источника света	Металлогалогенная лампа	Светодиоды	Дуговая натриевая трубчатая лампа
Стоимость электроэнергии за освещение моста в год, руб.	5 664 161	3 468 960	5 216 990
Средний срок эксплуатации, ч/лет	15000/1,7	35000/4	12000/1,6
Время окупаемости системы, лет	4,12	12,2	3,7

**Выводы**

Для освещения мостового перехода через Керченский пролив целесообразнее использовать дуговые натриевые трубчатые лампы, так как их стоимость намного ниже, чем у остальных источников излучения. Несмотря на низкий срок эксплуатации производить полную замену данных ламп каждые полтора года будет выгоднее использования светодиодных систем. Время окупаемости данной системы составит 3,7 года, время окупаемости системы с металлогалогенной лампой – 4,12 лет, и светодиоды окупятся за 12,2 года. Металлогалогенные лампы обладают сравнимо низкой стоимостью и более долгим сроком службы, чем ДНТЛ, и могут быть также рекомендованы для установки на Керченском мосту, срок их окупаемости сравним с ДНТЛ.

Для обеспечения энергоэффективного питания осветительной системы наиболее рационально взять монокристаллические солнечные элементы, так как они обладают меньшей площадью, чем поликристаллические. Необходимая мощность панелей для энергообеспечения МГЛ и ДНТЛ составляет 200 Вт, для энергообеспечения светодиодной системы – 140 Вт.

#### *Литература*

1. *Дизайн-группа «Тормасов и К» и ООО «СпецСтройПроект».* Проект-концепция «Универсальный транспортный переход через Керченский пролив». Новая редакция. – М., 2014. – 43 с.
2. *Прайс-лист* солнечные батареи китайского производства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://aenergy.com.ua/images/stories/price/pdf/soln\\_batarei\\_kitau.pdf](http://aenergy.com.ua/images/stories/price/pdf/soln_batarei_kitau.pdf), свободный. Яз. рус. (дата обращения 03.01.2016).
3. *Строительные нормы и правила:* СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение: нормативно-технический материал. – М., 1995. – 35 с.
4. *Таблицы* инсоляции для расчет ФЭС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.solbat.su/meteorology/insolation/>, свободный. Яз. рус. (дата обращения 03.05.2016).
5. *Gevorkian P.* Alternative Energy Systems in Building Design. – McGraw-Hill, 2011. – 545 p.