

Методы проектирования стационарных солнцезащитных устройств

А.Т. ДВОРЕЦКИЙ¹, М.А. МОРГУНОВА¹, О.В. СЕРГЕЙЧУК²,
А.В. СПИРИДОНОВ³

¹ ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»,
Россия, Симферополь

² Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Украина, Киев

³ ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН», Россия, Москва
E-mail: dvoretskyat@ukr.net, riyu@ukr.net, ovsergeich@mail.ru, spiridonova@aprok.org

*Архитектор может прекрасно управлять естественным освещением, если он владеет знанием траектории Солнца.
Фрэнк Ллойд Райт, американский архитектор*

Аннотация

Приведены математические модели процесса инсоляции зданий. В основе этих моделей лежит солнечная геометрия, описанная суточным конусом солнечных лучей, без знания которой невозможно профессиональное и качественное проектирование энергоэффективных зданий и городов. Для формообразования стационарных солнцезащитных устройств в виде пространственных форм целесообразно применять способ, основанный на использовании суточного конуса солнечных лучей, который легко реализуется с помощью специализированных компьютерных программ.

Самый информативный и универсальный способ проектирования стационарных солнцезащитных устройств основан на использовании так называемых «солнечных карт».

Ключевые слова: солнцезащитные устройства, суточный конус солнечных лучей, солнечная карта, инсоляция, микроклимат помещений.

Введение

Одним из основных факторов формирования микроклимата помещений является инсоляция, регулирование которой можно производить с помощью солнцезащитных устройств (СЗУ). Задачей повышения энергетической эффективности здания при проектировании СЗУ является определение его формы, при которой в перегревный период года (необходимость охлаждения здания) солнечная радиация не проходит в помещение,

а в отопительный период помещение максимально инсолируется, получая дополнительные теплоступления от Солнца [1–3].

Создание в ближайшее время комплекса российских стандартов по солнцезащите абсолютно необходимо, востребовано и будет способствовать повышению теплового и зрительного комфорта в помещениях, снижению энергетических затрат на эксплуатацию зданий [4].

Существуют две важные задачи, связанные с регулированием инсоляционного режима помещений: 1) расчёт продолжительности инсоляции и её соответствия санитарным нормам [5], в которых, нормируемая продолжительность непрерывной инсоляции, например, для центральной зоны (48–58° с.ш.) с 22 марта по 22 сентября – не менее 2,0 ч в день; 2) формообразование СЗУ с заданными свойствами.

В настоящей статье анализируются существующие способы формо-

образования различных СЗУ с учётом климатических условий и ориентации фасада.

Методические основания. Геометрическая модель процесса инсоляции точки на поверхности земли в течение суток

В основе всех способов оптимального формообразования стационарных СЗУ лежит геометрия видимого движения солнца по небосводу, а именно – геометрическая модель процесса инсоляции точки на поверхности земли в течение суток. Эта модель представляет собой однопараметрическое множество солнечных лучей, проходящих в эту точку в течение суток, и является, по определению проф. А.Л. Подгорного, суточным конусом солнечных лучей (СКСЛ) [2]. Использование СКСЛ – основа всех способов формообразования СЗУ и большинства способов определения продолжительности инсоляции.

Из большого разнообразия методов расчёта инсоляции [6, 7] наиболее точны методы на основе математической модели СКСЛ.

На рис. 1 представлено условное, но достаточно наглядное изображение дневной части СКСЛ, а на рис. 2 изображён СКСЛ в прямоугольных проекциях. При этом: на фронтальной проекции I изображены две полы¹

¹ Коническая поверхность, образуемая вращением прямой (образующей) вокруг пересекающей с ней осью, состоит из двух частей или пол, смыкающихся в точке пересечения образующей и оси конуса – вершине конуса.

Рис. 1. Геометрическая модель суточного конуса солнечных лучей:

A – инсолируемая точка; Φ – суточный конус солнечных лучей (СКСЛ); α – угол между образующей конуса и его осью; P – горизонтальная плоскость (поверхность земли в инсолируемой точке); δ – географическая широта местности; i – ось вращения земли; S , N – направления на юг и север; $S_{\text{восх.}}$ – направление на восход солнца; $S_{\text{зах.}}$ – направление на заход солнца

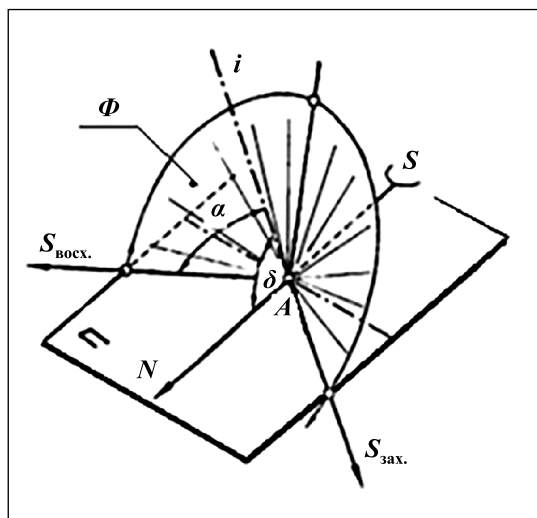
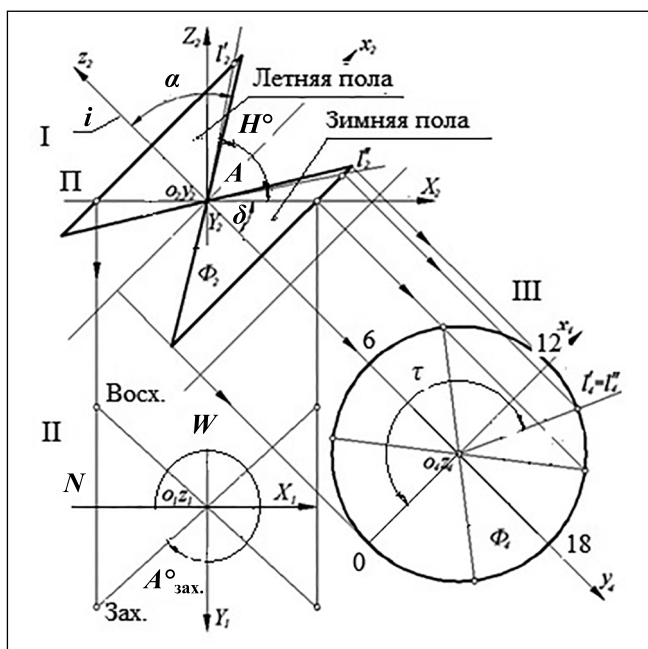


Рис. 2. Прямоугольные проекции суточного конуса солнечных лучей:
 H° – угловая высота солнца; Π – горизонтальная плоскость; $A^\circ_{\text{зах}}$ – азимут захода солнца; τ – часовой угол; l^i – образующая конуса. Остальные буквенные обозначения – в соответствии с рис. 1



$$\alpha = \arccos \begin{bmatrix} \cos 66,55^\circ \cdot \\ \cdot \cos \left(\frac{360^\circ}{365} \cdot N \right) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где $66,55^\circ$ – наклон оси вращения Земли к плоскости её орбиты; 360° – угол, который за год описывает Земля, двигаясь вокруг Солнца; 365 – количество дней в году; N – число суток, отсчитываемых от 22 июня до заданного дня года.

Требуемая геометрия СЗУ может определяться графически, аналитически или с помощью графических программ (например, «INTEAR» (Киев), «Солярис» (Екатеринбург), «Lara» (Нижний Новгород), а также с использованием «AutoCAD», «ArchiCAD», «3ds Max» и др.). Традиционные решения, использовавшиеся до сих пор в течение многих поколений, были графическими и достаточно трудоёмкими.

Основные методы определения оптимальной формы стационарных СЗУ

Все методы формообразования СЗУ базируются на СКСЛ. При этом основные методы следующие: 1) с помощью солнечных карт [2, 6, 8]; 2) с помощью горизонтальных и вертикальных теневых углов [1]; 3) на основе СКСЛ [3].

С помощью солнечных карт

Солнечная карта представляет собой графический инструмент для инсоляционных расчётов и проектирования СЗУ. Она получается проецированием на горизонтальную плоскость видимой небесной полусферы. На ней отражены солнечные траектории, часовые линии и координатная сетка, состоящая из азимутальных линий и альмукантарат (концентрические круги, с помощью которых определяют высоту солнца). В зависимости от вида проецирования солнечная карта может быть ортогональной, стереографической и др. Солнечные карты строятся для конкретной географической широты. Стереографическая проекция (рис. 3) наиболее удобна при ручном построении и с использованием вышеуказанных компьютерных программ. На стереографической солнечной карте изображены: ради-

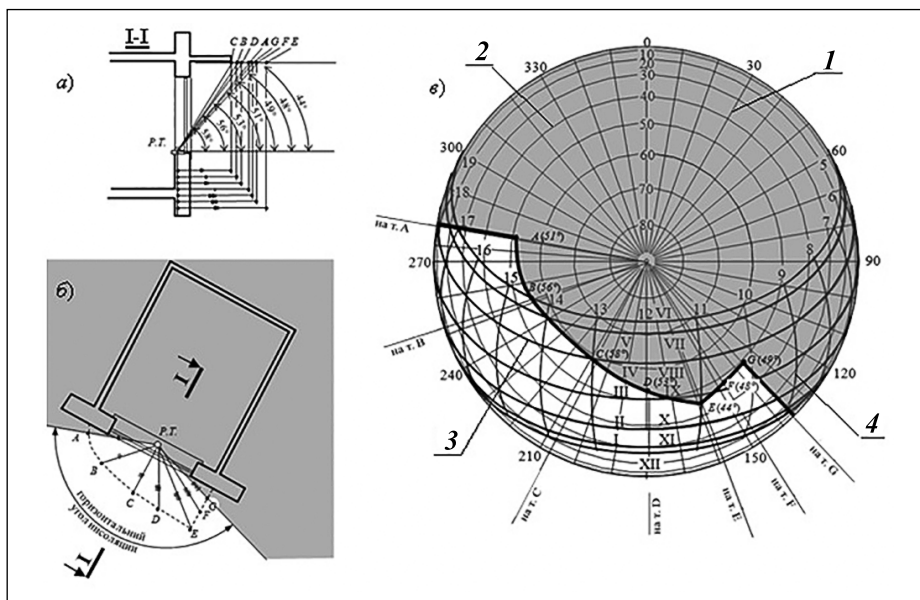


Рис. 3. Определение теневой маски СЗУ с помощью солнечной карты:
 а – определение вертикальных углов инсоляции; б – определение горизонтального угла инсоляции и направлений для построения теневой маски СЗУ; в – теневая маска

СКСЛ – летняя и зимняя; высота H° на рис. 2 соответствует времени 12:00; плоскость Π рассекает конус по двум образующим, которые на горизонтальной проекции Π указывают направления на восход и заход солнца; на дополнительной проекции Π в направлении оси конуса изображена часовая диаграмма; для любого положения солнца может быть найдена соответствующая образующая конуса, например l^i и определено время суток τ .

С помощью СКСЛ можно: 1) определить направление и время восхода и захода солнца в любой день года; 2)

определить азимут и высоту солнца в любой момент времени; 3) построить солнечные часы и любой из известных графических инструментов для решения инсоляционных задач.

Для заданной географической широты d СКСЛ для произвольных суток определяется следующим образом:

- в вертикальной плоскости, параллельной направлению север-юг определяется наклон оси конуса по отношению к оси X – ось наклонена под углом d в северном полушарии вниз, а в южном полушарии – вверх;
- определяется угол a между образующей конуса и его осью:

альные линии, с помощью которых определяют азимут солнца, *I*; концентрические круги – альмукантары, с помощью которых определяют высоту Солнца, *2*; дуги окружностей, которые являются стереографической проекцией пересечения небесной полусферы и суточных конусов для 22 числа каждого месяца, *3*; дуги окружностей, которые являются солнечными часовыми линиями, *4*.

Чтобы построить теневую маску козырька на солнечной карте с последующим определением продолжительности инсоляции, необходимо знать угловую высоту лучей, проходящих через точки козырька и расчётную точку (*P.T.*). В качестве *P.T.* принимается точка пересечения срединной поверхности и луча, который касается СЗУ и нижнего внутреннего контура светопрёма в вертикальной секущей плоскости, перпендикулярной срединной поверхности светопрёма.

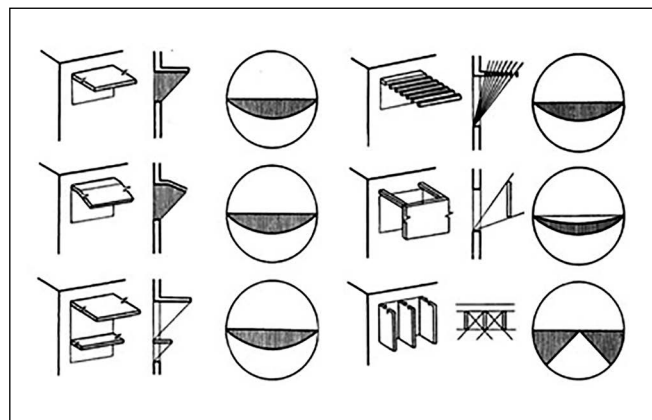
Для этого проводится вертикальная секущая плоскость *I-I* через точку на козырьке, например через точку *C* (рис. 3, б). На разрезе окна (рис. 3, а) определяется угловая высота луча, проходящего через точку *C* и расчётную точку *P.T.* С помощью альмукантарат на направлении *C* находится точка на солнечной карте (рис. 3, в), соответствующая точке *C* на козырьке. Аналогичным способом строятся и другие точки теневой маски на солнечной карте, соответствующие выбранным точкам на козырьке.

Важно заметить, что решение обратной задачи позволяет спроектировать форму СЗУ по теневой маске, закрывающей нежелательную с точки зрения перегрева помещения зону на солнечной карте.

Солнечные карты целесообразно использовать при расчёте продолжительности инсоляции помещения при наличии СЗУ.

Некоторые СЗУ, состоящие из плоских элементов (как бы отсеков плоскостей), и их теневые маски представлены на рис. 4 [1]. Рядом с аксонометрией и разрезом конструкции СЗУ показана его теневая маска, которая может быть использована при расчёте продолжительности инсоляции наложением её на солнечную карту. Центр теневой маски необходимо совмещать с центром солнечной карты и ориентировать её в соответствии с ориентацией окна.

Рис. 4. Некоторые типы солнцезащитных устройств и их теневые маски



С помощью горизонтальных и вертикальных теневых углов

В работе [1] предложен способ формообразования СЗУ с помощью горизонтальных и вертикальных теневых углов. При проектировании затеняющих систем оптимальной формы использование высоты и азимута солнца не совсем удобно [1]. Удобнее использовать углы положения Солнца, измеренные от перпендикуляра к фасаду в горизонтальной и вертикальной плоскостях, называемые горизонтальными и вертикальными теневыми углами.

Горизонтальный теневой угол *HSA* определяется как угол между солнечным азимутом A° и азимутом фасада A_Φ° (рис. 5 и 6).

$$HSA = A^\circ - A_\Phi^\circ$$

Вертикальный теневой угол *VSA* является углом между перпендикуляром *OP* к стене и проекцией *BP* её тени в вертикальной плоскости, в которой находится перпендикуляр *OP*.

Используя элементарные тригонометрические соотношения, получим:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} VSA &= OB / OP = PC / BC = \\ &= (PC / AC)(AC / BC) = \operatorname{tg} H^\circ \sec HSA. \end{aligned}$$

На рис. 7 изображены прямоугольные проекции СЗУ, которое состоит из вертикального цилиндра с произвольной горизонтальной проекцией, обозначенной как *FKRKBD*. Этот пример рассмотрен в книге [1] для 32° ю.ш. Горизонтальные и вертикальные теневые углы определены по СКСЛ для 26 мая и 19 июля – дни периода охлаждения зданий для южного полушария и симметричны относительно 22 июня. В таблице показаны только несколько используемых углов и ха-

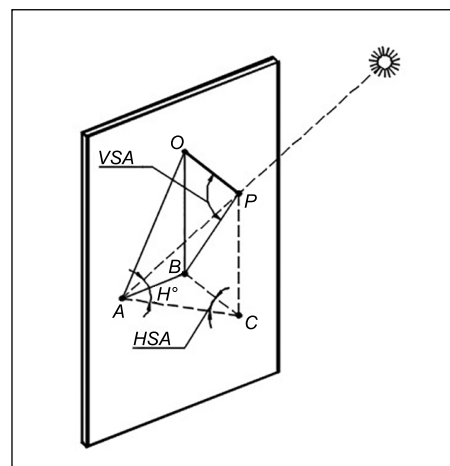


Рис. 5. Теневые углы: *OP* – перпендикуляр к стене; *HSA* – горизонтальный теневой угол; *VSA* – вертикальный теневой угол; H° – угловая высота солнечного луча

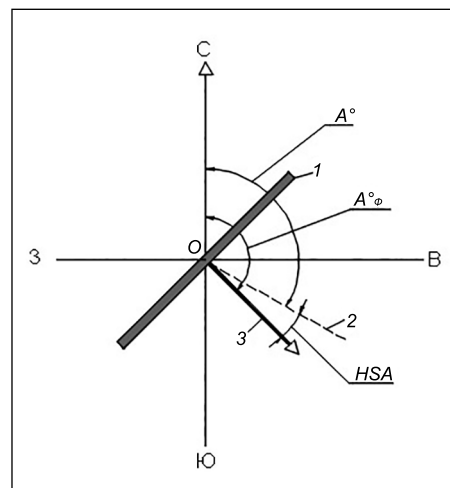


Рис. 6. Азимутальные углы: 1 – стена; 2 – луч солнца; 3 – перпендикуляр к стене; A° – солнечный азимут; A_Φ° – азимут фасада

актерные точки, учитываемые при проектировании.

Для формообразования контура СЗУ необходимо удалить лишнюю часть на цилиндре, чтобы зимнее сол-

Горизонтальные и вертикальные теневые углы

Солнечное время		10:00			16:30
Теневые углы, °	<i>HSA</i>	22	40	52	61
	<i>VSA</i>	33	31	23	10
Кривые и точки		Кривая <i>RZF</i>	К	Л	Кривая <i>BD</i> и прямая <i>DA'</i>

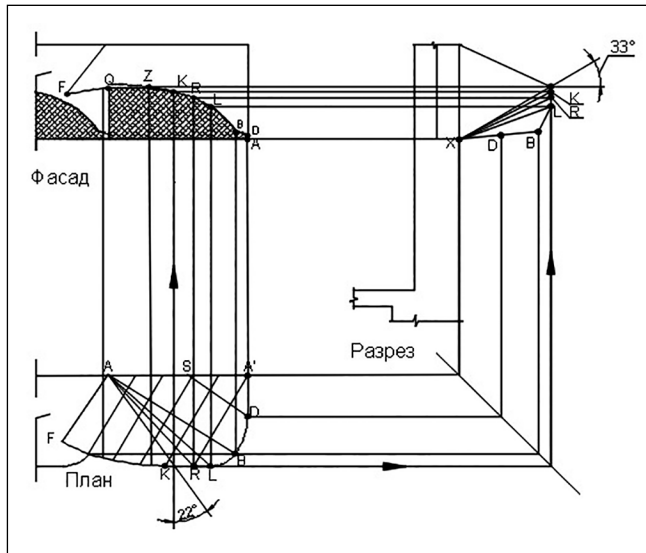


Рис. 7. Прямоугольные проекции СЗУ: QZKLBDA – контур СЗУ; 33° – вертикальный теневой угол; 22° – горизонтальный теневой угол

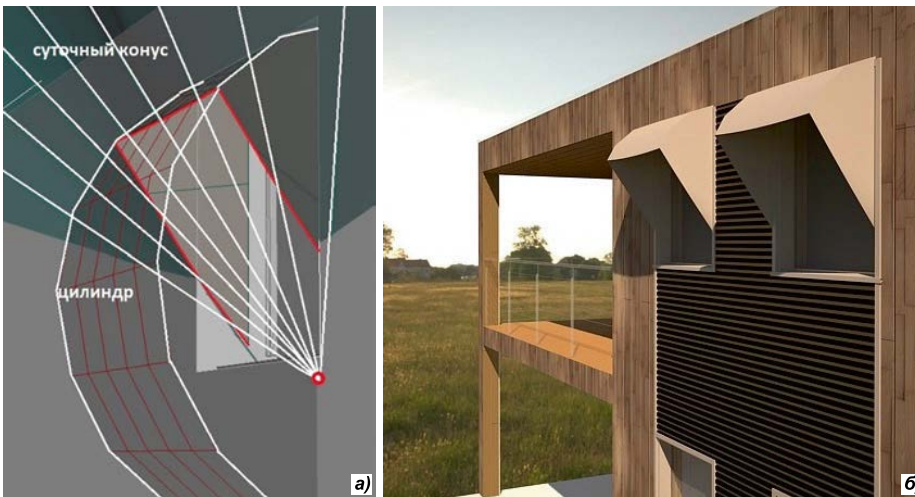


Рис. 8. Формообразование СЗУ с помощью суточного конуса солнечных лучей

нце поступало в помещение. Линия выреза определяется с помощью горизонтальных и вертикальных теневых углов из таблицы, соответствующих выбранному периоду с 26 мая по 19 июля (рис. 7). С помощью этих углов на прямоугольных проекциях строятся лучи. Точки пересечения этих лучей с цилиндрической поверхностью СЗУ принадлежат линии выреза.

Необходимое условие применения этого способа – хорошее знание на-

чертательной геометрии. Его недостатки – громоздкость построений и сложность компьютеризации расчётов.

На основе суточного конуса солнечных лучей

Этот метод – графо-аналитический, и потому легко реализуется на компьютере [3], например в программе «3ds Max». В настоящее время в Крымском федеральном университете им. В.И. Вернадского и НИИСФ

РААСН разрабатывается специализированная программа для моделирования формы СЗУ на основе СКСЛ.

Параметры формы и положения СЗУ определяются по следующему алгоритму:

1. Выбирается пространственная форма СЗУ в зависимости от пластики фасада. Например, цилиндрическая (рис. 8).

2. Определяется период перегрева здания для соответствующих климатических условий (например, среднесуточная температура наружного воздуха выше 21 °С, избыточное количество солнечной радиации). Если период затенения окна на южном фасаде в Симферополе выбран с 22 апреля по 22 августа (период, симметричный относительно 22 июня), то СКСЛ для граничных дней этого периода рассчитывается следующим образом:

- количество суток от 22 июня до 22 августа: 62;
- угол α определяется по формуле (1): 78°54'.

3. Размеры и контуры СЗУ определяются для заданного периода затенения. Для этого ищется линия пересечения поверхности СЗУ с СКСЛ для граничных дней периода затенения в программе «3ds Max». На рис. 8 изображено СЗУ цилиндрической формы, имеющее горизонтальную ось вращения.

Этим способом целесообразно проектировать стационарные СЗУ в виде кожухов (имеющих трёхмерную форму). Его недостатком является симметричность поверхности СЗУ, что не в полной мере учитывает перегрев во второй половине дня.

Выводы

1. В статье приведены основные модели процесса инсоляции зданий. В основе этих моделей лежит солнечная геометрия, описываемая суточным конусом солнечных лучей, без знания которой невозможно профессиональное проектирование энергоэффективных зданий и городов.

2. Все предложенные модели реализуемы в программах «AutoCAD», «ArchiCAD», «3ds Max» и ряде других графических программ. Существующие программы «INTEAR» и «Солярис» позволяют рассчитывать продолжительность инсоляции только в первый и последний дни инсоляционного периода и не предназначены

для проектирования СЗУ. Для проектирования СЗУ на основе СКСЛ в настоящее время разрабатываются специализированные программы.

3. Для оптимального формообразования стационарных СЗУ, представляющих некие пространственные формы (цилиндрические, конические, параллелепипедные и др.) целесообразно прибегать к методу на основе использовании СКСЛ, наиболее легко реализуемому на компьютере.

4. Для инсоляционных расчётов и проектирования СЗУ, состоящих из элементов в форме отсеков плоскостей или ламелей, предпочтения заслуживает метод на основе использования солнечных карт, из-за его высокой информативности и универсальности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Harkness E.L., Mehta M.L.* Solar Radiation Control in Buildings. — London: Applied Science Publishers Ltd, 1978. — 170 p.

2. *Подгорный А.Л., Щепетова И.М., Сергейчук О.В., Зайцев О.М., Процюк В.П.* Світлопрозорі огороженія будинків / Под ред. А.Л. Подгорного. — К.: Домашевська О.А., 2005. — 281 с.

3. *Дворецкий А.Т., Авдоньев Е.Я., Моргунова М.А.* Формообразование стационарных солнцезащитных устройств с использованием суточного конуса солнечных лучей // Строительство и реконструкция. — 2015. — № 5 (61). — С. 70–76.

4. *Римшин В.И., Сёмин С.А., Спиридонов А.В., Шубин И.Л.* Практика нормирования солнцезащитных устройств // Светотехника. — 2014. — № 6. — С. 27–31.

5. СанПиН 2.1.2.2645–10 (с изменениями на 27.12.2010).

6. *Kittler R., Mikler J.* Zaklady vyuzivania slnecneho ziarenia. — Bratislava: VEDA, 1986. — 152 p.

7. *Штейнберг А.Я.* Солнцезащита зданий / Под ред. А.Л. Подгорного. — К.: Будівельник, 1986. — 104 с.

8. *Сергейчук О.В., Буравченко В.С., Андропова О.В. и др.* Особенности методики расчёта солнечных поступлений в национальном приложении к ДСТУ Б EN ISO 13790 // Энергоэффективность в будівництві та архітектурі: наук. — техн. збірник. — К.: КНУБА, 2014. — Вип. 6. — С. 267–272.



Дворецкий Александр Тимофеевич, доктор техн. наук, профессор. Окончил в 1971 г. Донецкий политехнический институт. Зав. кафедрой «Геометрическое и компьютерное

моделирование энергоэффективных зданий» Академии строительства и архитектуры Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. Советник РААСН



Моргунова Мария Александровна, архитектор. Окончила Академию строительства и архитектуры Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского.

Аспирант кафедры «Геометрическое и компьютерное моделирование энергоэффективных зданий» Академии строительства и архитектуры Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского



Сергейчук Олег Васильевич, доктор техн. наук, профессор. Окончил в 1975 г. Киевский национальный университет строительства и архитектуры. Профессор архи-

тектурного факультета Киевского национального университета строительства и архитектуры

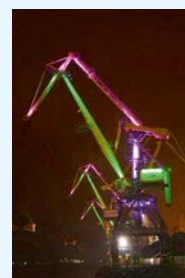


Спиридонов Александр Владимирович, кандидат техн. наук. Окончил в 1975 г. МЭИ (специальность «Светотехника и источники света»). Зав. лабораторией

«Энергосберегающие технологии в строительстве» НИИСФ РААСН. Президент Ассоциации производителей энергоэффективных окон (АПРОК). Лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники

Архитектурно-художественное освещение порталных кранов Мурманского морского торгового порта

Светотехническая компания «МТ Электро» (Мурманск) впервые реализовала проект архитектурно-художественного освещения кранов Мурманского морского торгового порта, которые давно стали одним из символов



столицы Кольского Заполярья, своеобразной визитной карточкой портового города. «МТ Электро» оказалась единственной компанией, соответствующей жёстким требованиям клиента по уровню профессиональной компетентности и имеющемуся опыту реализации аналогичных проектов. На трёх новых кранах «Витязь», высотой около 50 м, установлена современная осветительная система, создающая оригинальное светодинамичное освещение. Благодаря ансамблю световых арт-объектов в горизонте порта появилась динамичная световая композиция, преобразившая панораму ночного города. Радиоуправляемая система управления освещением позволяет создавать неограниченное число светоцветовых сценариев для конкретных мероприятий и праздников. Детальное проектирование позволило применить оптимальное количество ОП для должного светораспределения. При выборе светотехнического оборудования (производитель — компания *IntiLed*) учитывалась специфика климата региона и местоположение ОП. Вся система архитектурного освещения адаптирована и устойчива к воздействию динамических и вибрационных нагрузок, корпуса ОП изготовлены из антикоррозийных материалов. Особое внимание уделено местам расположения ОП, оптике и углам нацеливания для предотвращения чрезмерного рассеивания света и светового загрязнения и обеспечения безопасного выполнения основной производственной функции кранов. Разработана особая конструкция крепежа ОП, которая исключает сверление и сварку крановых металлоконструкций. Реализация проекта была выполнена собственными силами компании в ограниченные сроки. Презентация проекта состоялась в дни юбилейных торжеств в честь 100-летия Мурманска, и теперь краны продолжают озарять яркими красками акваторию Кольского залива в период долгой полярной ночи.

www.svetozone.ru
14.11.2016