

## Геометрическое моделирование солнцезащитных устройств

А.Т. Дворецкий

Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

**Аннотация.** Увеличение доли солнечной энергии в энергоснабжении здания за счет использования пассивных и активных солнечных коллекторов в отопительный период и использования солнцезащиты в период охлаждения является основной задачей при строительстве и эксплуатации энергоэффективных зданий. Солнечная геометрия лежит в основе многих способов повышения эффективности солнечного отопления и охлаждения здания. В основе всех способов формообразования солнцезащитных устройств 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, приходящих в одну точку на земной поверхности в течение суток, и является суточным конусом солнечных лучей (СКСЛ). Алгоритмы проектирования солнцезащитных устройств в виде жалюзи и коробов основаны на модели СКСЛ. Предложенная модель солнцезащитных устройств в виде коробов экранирует светопрозрачные конструкции от прямой солнечной радиации в период охлаждения здания, а в отопительный период помещение максимально инсолируется.

**Ключевые слова:** суточный конус солнечных лучей, солнцезащитные устройства, климатизация помещения, энергетическая эффективность

## Geometric modeling of sun protection devices

А.Т. Dvoretsky

Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

**Abstract.** Increasing the share of solar energy in the energy supply of a building by using passive and active solar collectors during the heating period and using sun protection during the cooling period is the main task in the construction and operation of energy-efficient buildings. Solar geometry underlies many methods for increasing the efficiency of solar heating and cooling of a building. All methods for shaping sun protection devices are based on the geometry of the visible movement of the Sun across the sky, namely, a geometric model of the insolation process of a point on the earth's surface during the day. This model is a one-parameter set of solar rays arriving at one point on the earth's surface during the day, and is a diurnal cone of solar rays (DCSR). Algorithms for designing sun protection devices in the form of blinds and boxes are based on the DCSR model. The proposed model of sun protection devices in the form of boxes screens translucent structures from direct solar radiation during the cooling period of the building, and during the heating period the room is maximally insulated.

**Keywords:** daily cone of solar rays, sun protection devices, indoor climate control, energy efficiency

### Введение

Пассивные солнечные дома создаются в результате комплексного проектирования, которое использует местные источники энергии и материалы, климатизацию внутреннего пространства в большей мере архитектурными средствами, чем инженерными [1, 2].

Обеспечение комфортных параметров микроклимата в энергоэффективных зданиях является одним из основных требований к современному строительству [3]. Параметры микроклимата в помещениях нормируются в соответствии с ГОСТ 30494-2011.

В южных странах Европы (Португалия, Испания, Италия, Греция и другие) средняя зимняя температура в январе  $+10^{\circ}\text{C}$ , средняя летняя в июле  $+25^{\circ}\text{C}$ . Эти страны имеют летний доминирующий климат.

В Крыму средняя температура в январе  $-0,3^{\circ}\text{C}$  с холодной пятидневкой  $-18^{\circ}\text{C}$ , средняя температура в июле  $22^{\circ}\text{C}$  с жаркой пятидневкой  $25^{\circ}\text{C}$ . Зимой достаточно холодно, а летом жарко. Такой климат может быть назван смешанным.

Необходимо обеспечивать комфортные условия в помещениях как в холодный, так и в перегревный период года. Для снижения теплопоступлений в помещения в жаркий период года наиболее эффективным способом считается использование солнцезащитных устройств [4].

### Постановка задачи

По данным Европейской организации по солнечной защите (ESSO – European Solar Shading Organization, 2012), использование внешних солнцезащитных устройств существенно сокращает потребности в энергии для отопления, кондиционирования и освещения.

На рисунке 1 показаны потребности в энергии для отопления, кондиционирования и освещения для офиса площадью 20 м<sup>2</sup> в шести столицах Европы. Офисное помещение оборудовано прозрачным двойным остеклением и находится на южной стороне. Светопрозрачная поверхность представляет собой 80 % фасада. Солнцезащитное устройство (СЗУ) установлено снаружи [5].

Согласно гистограмме потребления энергии на климатизацию помещения южной ориентации (см. рис. 1), самое существенное снижение потребления энергии в течение года наблюдается в Риме – на 75 %, в Мадриде – на 62 %, в Берлине – на 25 %.

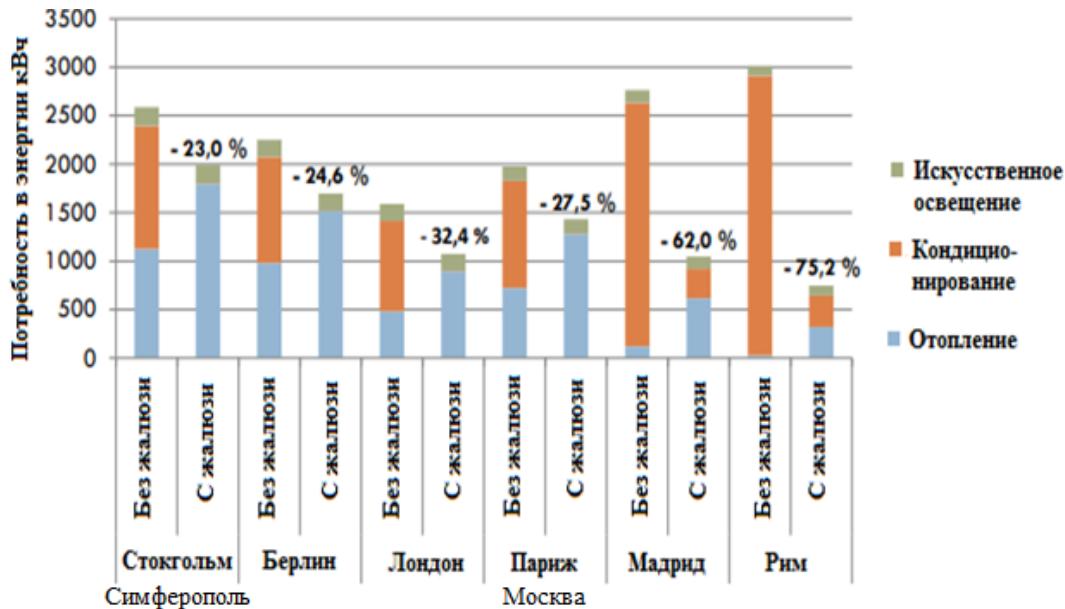


Рисунок 1. Энергопотребление в помещении южного фасада:  
без солнцезащиты и с наружной солнцезащитой

Косвенно, с достаточной долей вероятности, оценить энергетическую эффективность СЗУ в Симферополе и Москве можно следующим образом:

Климатические условия Москвы очень схожи с климатическими условиями Стокгольма. По уровню солнечной радиации Москва и Стокгольм находятся в одинаковых условиях: 1400–1700 солнечных часов в году. Что касается среднемесячной и среднегодовой температур этих городов, среднегодовые значения температур отличаются на 0,8 °C [6].

Климатические условия Симферополя и Парижа мало отличаются по температуре. Среднегодовые значения температур отличаются на 1,9 °C. Однако количество солнечных дней в году в Симферополе значительно больше, чем в Париже: 2000 и 1700 соответственно [6].

Энергетическая эффективность солнцезащитных устройств в Стокгольме доказана тем, что в течение года потребление энергии на климатизацию помещения снижается на 23 % при использовании жалюзи (рис. 1). Так как климатические условия Москвы очень схожи с климатическими условиями Стокгольма, то можно сделать вывод, что снижение потребления энергии в Москве будет схожим со Стокгольмом.

В течение года потребление энергии на климатизацию помещения в Париже снижается на 27,5 % при использовании жалюзи. Учитывая то, что солнечной радиации в течение года в Симферополе значительно больше, чем в Париже, и среднегодовая температура близка по значениям, снижение потребления энергии на климатизацию помещения будет больше в Симферополе (рис. 1).

Эти примеры доказывают энергетическую эффективность использования солнцезащитных устройств при климатизации зданий.

### Формообразование солнцезащитных устройств в виде коробов

Одним из основных факторов формирования микроклимата помещений является инсоляция, контроль за которой можно осуществлять с помощью солнцезащитных устройств (СЗУ). Задачей повышения энергоэффективности здания при проектировании СЗУ является определение формы устройства, при которой в период охлаждения здания солнечная радиация не проходит в помещение, а в отопительный период помещение максимально инсолируется [7].

Отличия в положениях Солнца для различных ориентаций и времени года определяются по суточному конусу солнечных лучей (рис. 2).

В основе всех методов формирования стационарных солнцезащитных устройств лежит геометрия видимого движения Солнца по небосводу, а именно геометрическая модель процесса инсоляции в точке земной поверхности в течение суток. Эта модель представляет собой однопараметрическую совокупность солнечных лучей, поступающих в одну точку земной поверхности в течение суток, и суточный конус солнечных лучей (СКСЛ).

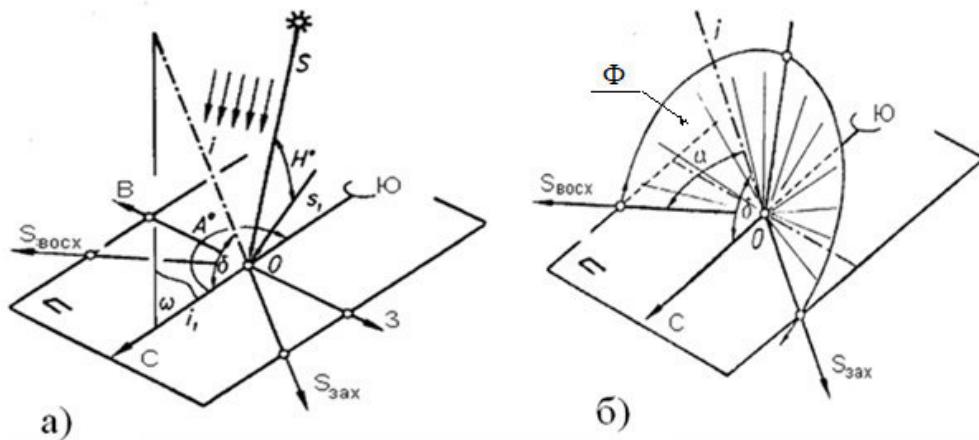


Рисунок 2. Геометрическая модель суточного конуса солнечных лучей:  $A$  – инсолируемая точка;  $\Phi$  – суточный конус солнечных лучей;  $\alpha$  – угол между образующей суточного конуса солнечных лучей (СКСЛ) и его осью;  $\Pi$  – горизонтальная плоскость (поверхность Земли в инсолируемой точке);  $\delta$  – широта местности и угол наклона оси конуса к плоскости горизонта;  $i$  – ось СКСЛ параллельна оси вращения Земли;  $S_{восх}$  – направление на восход Солнца;  $S_{зах}$  – направление на заход Солнца; азимут восхода Солнца;  $H^{\circ}$  – угловая высота Солнца

Используя СКСЛ, можно определять следующие параметры:

- угловую высоту Солнца в полдень  $H^{\circ}_{12}$  для выбранного дня года (применяется в расчетах параметров положения солнечных коллекторов и фотоэлектрических панелей);
- азимуты восхода  $A^{\circ}_{восх}$  и захода  $A^{\circ}_{зах}$  Солнца для выбранной даты (применяется при определении продолжительности инсоляции);
- время восхода  $\tau_{восх}$  и захода  $\tau_{зах}$  Солнца.

### Результаты моделирования

Спроектировать СЗУ на южном фасаде в виде цилиндра с горизонтальной осью, перпендикулярной фасаду здания, можно по следующим алгоритму:

1. Задаётся светопрёём на фасаде соответствующей ориентации. В данном примере фасад южный;
2. Задаётся поверхность СЗУ. В качестве поверхности СЗУ выбран цилиндр, ось  $i$  которого горизонтальна и перпендикулярна плоскости фасада и который легко может быть реализован в виде маркизы (рис. 3);
3. Рассчитывается половина угла при вершине суточного конуса солнечных лучей (СКСЛ). Косинус половины угла при вершине суточного конуса солнечных  $\alpha$  лучей:

$$\cos \alpha = 0,3979 \cdot \cos \gamma. \quad (1)$$

Определяется переменный угол  $\gamma$ , который равен углу поворота Земли вокруг Солнца, отсчитываемый от точки летнего противостояния:

$$\gamma = \frac{360^\circ \cdot N}{365} = 0,9863^\circ \cdot N, \quad (2)$$

где  $N$  – число суток, которые отсчитываются от 22 июня до заданного дня года;

4. Ориентируется СКСЛ так, чтобы его вершина совпадала с расчетной точкой Р.Т., а его ось принадлежала вертикальной плоскости, расположенной в направлении север-юг и была наклонена к плоскости горизонта под углом  $\delta$  (широта местности);

5. Строится контур СЗУ (рис. 3) как линия пересечения поверхности цилиндра и суточного конуса солнечных лучей.

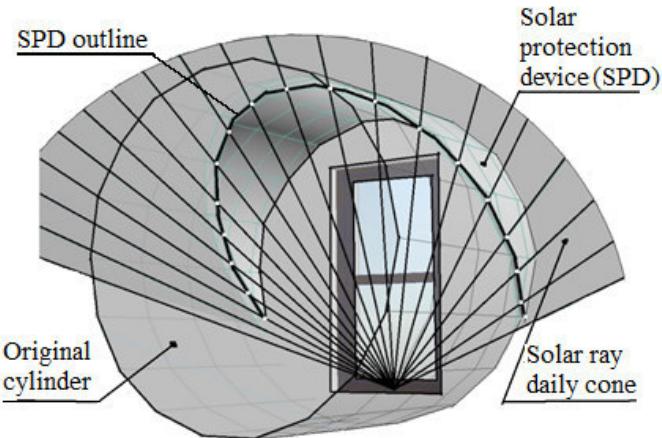


Рисунок 3. Солнцезащитное устройство в виде цилиндра

### Обсуждение результатов

При проектировании солнцезащитных устройств следует учитывать основные требования к их влиянию на микроклимат помещений и энергосбережение:

- снижение теплопоступлений в помещения в теплый период года (пассивное охлаждение);
- снижение теплопотерь и максимальные теплопоступления в помещения в холодный период года (пассивный солнечный обогрев);
- повышение зрительного комфорта, в том числе устранение слепящей яркости в производственных и общественных зданиях и сохранение визуального контакта с внешней средой в течение всего года.

Этим требованиям удовлетворяют два проекта южных фасадов. На рисунке 4 изображён фасад здания с солнцезащитными устройствами в виде цилиндрических поверхностей. На рисунке 5 изображён фасад здания с солнцезащитными устройствами в виде конусов.



Рисунок 4. Солнцезащитные устройства в виде цилиндров

## Выводы

Для проектирования СЗУ в виде коробов и инсоляционных расчетов предпочтение надо отдавать способу, основанному на использовании суточного конуса солнечных лучей, из-за его высокой информативности и универсальности.

Модель суточного конуса солнечных лучей позволяет определять значения азимутов восхода и захода Солнца, а также угловые высоты Солнца для любого дня года, что необходимо для оптимальной ориентации здания по сторонам света и выбора солнцезащитных устройств при проектировании энергоэффективных зданий.

Неважно, для какого климата спроектировано здание, – оно должно быть ориентировано на солнце, иметь естественное отопление и охлаждение, естественное освещение, естественную вентиляцию и выполнено из натуральных, возобновляемых материалов с учетом переработки.

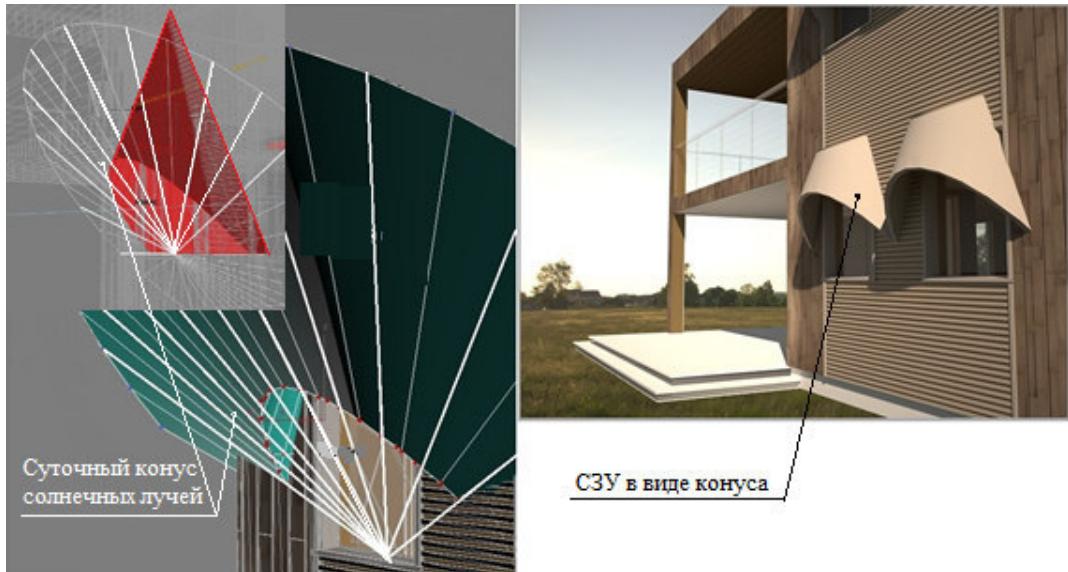


Рисунок 5. Солнцезащитное устройство в виде конуса

## Список литературы

1. Bainbridge David A., Haggard Ken. Passive Solar Architecture. Heating, Cooling, Ventilation and Daylighting Using Natural Flows // Chelsea Green Publishing. Vermont, 2011. 300 p.
2. The Business Case for Passive House. Synergy Sustainability Institute. Victoria, Canada, 2015. 70 p.
3. Дворецкий А.Т. Энергетическая эффективность солнцезащитных устройств // Строительство и техногенная безопасность. Симферополь, 2023. № 31. С. 119-127.
4. Faist V. Summary of designing passive houses // Publishing Association Building Universities. Moscow, 2008. 144 p.
5. Solar shading for low energy building / European Solar Shading Organization. 2012. 48 p.
6. Accounting of Climatic Features in Designing Solar Shading Devices / Alexander T. Dvoretsky, Alexander V. Spiridonov, Igor L. Shubin, Ksenia N. Klevets // Light&Engineering. 2018. Vol. 26, no. 2. P. 162–166.
7. Методы проектирования стационарных солнцезащитных устройств / Дворецкий А.Т., Моргунова М.А., Сергейчук О. В., Спиридонов А.В. // Светотехника. 2016. № 6. С. 43-48.