

Солнечные карты в проектировании солнцезащитных устройств общего положения

^a А.Т. ДВОРЕЦКИЙ¹, ^б О.В. СЕРГЕЙЧУК², ^в А.В. СПИРИДОНОВ³

¹ Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, РФ

² Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев, Украина

³ Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, Москва, РФ

E-mail: ^aerces_crimea@mail.ru, ^бovsergeich@mail.ru, ^вspiridonov_aleks@list.ru

Аннотация

Для инсоляционных расчётов и проектирования солнцезащитных устройств (СЗУ), состоящих из отсеков плоскостей или ламелей, предпочтение следует отдавать способу на основе использования солнечных карт, из-за его высокой информативности и универсальности. В статье рассмотрен алгоритм проектирования СЗУ общего положения с помощью солнечной карты и теневого угламера. Приведён пример расчёта геометрических параметров СЗУ, таких как углы наклона ламелей к горизонтальной плоскости и к плоскости фасада, расстояние между ламелями с учётом экранирования светопрозрачной конструкции в период охлаждения здания и пропуска солнечной радиации в период его отопления. Предложена упрощённая формула для расчёта энергоэффективности СЗУ общего положения.

Ключевые слова: солнечная карта, теневой угламер, теневая маска, геометрические параметры солнцезащитного устройства, зона желательной инсоляции, зона перегрева, период охлаждения здания.

Введение

Решающее влияние на температурный режим помещений оказывает Солнце. Даже в районах с умеренным климатом прирост солнечного тепла через окна в летнее время может быть чрезмерным. Снижать перегрев помещения летом можно следующими способами: 1) разворотом здания фасадом с максимальным количеством окон к северу, однако при этом пассивный солнечный обогрев помещений зимой через окна значительно уменьшается; 2) применением специальных стеклопакетов, работающих как тепловые фильтры, что при этом также снижает поступление тепла не только летом, но и зимой; 3) применением солнцезащитных устройств (СЗУ) оптимизированной геометрии.

Рационально спроектированное СЗУ экранирует солнечную радиацию в период перегрева, способствует лучшему использованию естественного света, устраняет слепящее действие и обеспечивает поступление солнечного тепла в помещение зимой.

Анализ последних достижений и публикаций

Простой инструмент для определения затеняемой части неба из определённой точки модели (расчётная точка) на солнечной карте – теневая маска. При любом заданном наборе затеняющих объектов их теневая маска может налагаться на солнечную карту, чтобы показывать, как в любой

момент года расчётная точка инсолируется [1]. Построение теневых масок может производиться с помощью теневых угламеров. Последние для горизонтальных и вертикальных затеняющих элементов рассмотрены в книге [2].

В статье [3] сообщается о расчётах и анализе защитных характеристик СЗУ, которые позволяют сформировать предварительные указания по энергоэффективности различных типов СЗУ. Однако корректно определять энергоэффективность СЗУ можно лишь с помощью комплексных солнечных карт, на которых обозначены зоны желательной и нежелательной инсоляции [4].

В своде правил [5] установлены основные требования к СЗУ зданий и правила их проектирования на территории РФ при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте жилых, общественных и производственных зданий. Для обеспечения нормативных требований к теплозащите, защите от солнечной радиации и естественному освещению в помещениях разного назначения данный свод правил определяет основные типы СЗУ по их местоположению, конструктивным особенностям, материалам изготовления и способам регулирования. Для проектирования стационарных СЗУ рациональной формы предложена методика с использованием солнечных карт. Для инсоляционных расчётов и проектирования СЗУ, со-

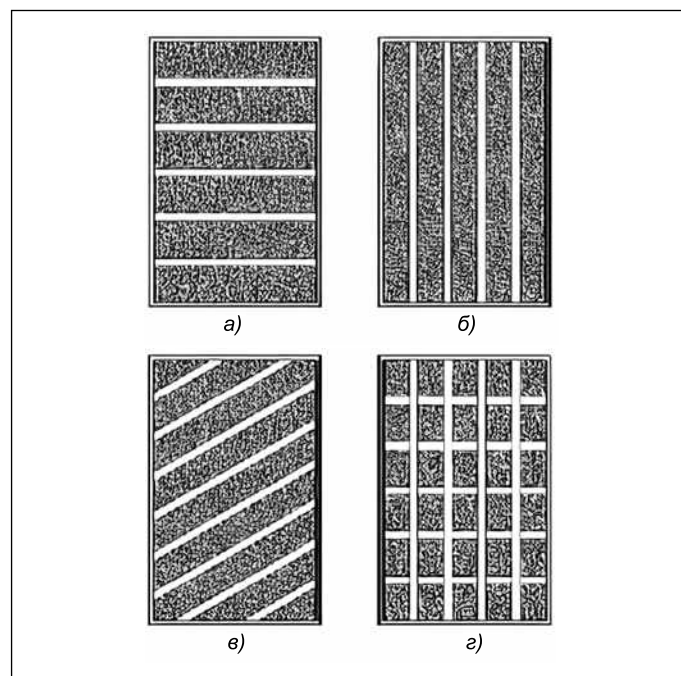


Рис. 1. Разные положения затеняющих элементов СЗУ: а – горизонтальные; б – вертикальные; в-общего положения; з – комбинированные

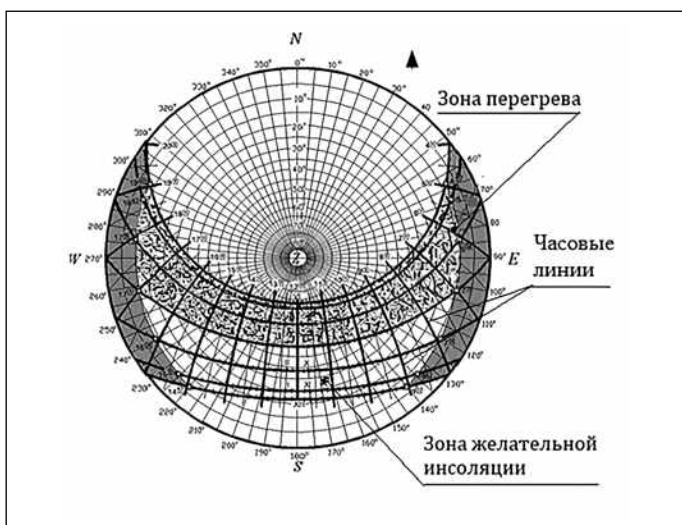


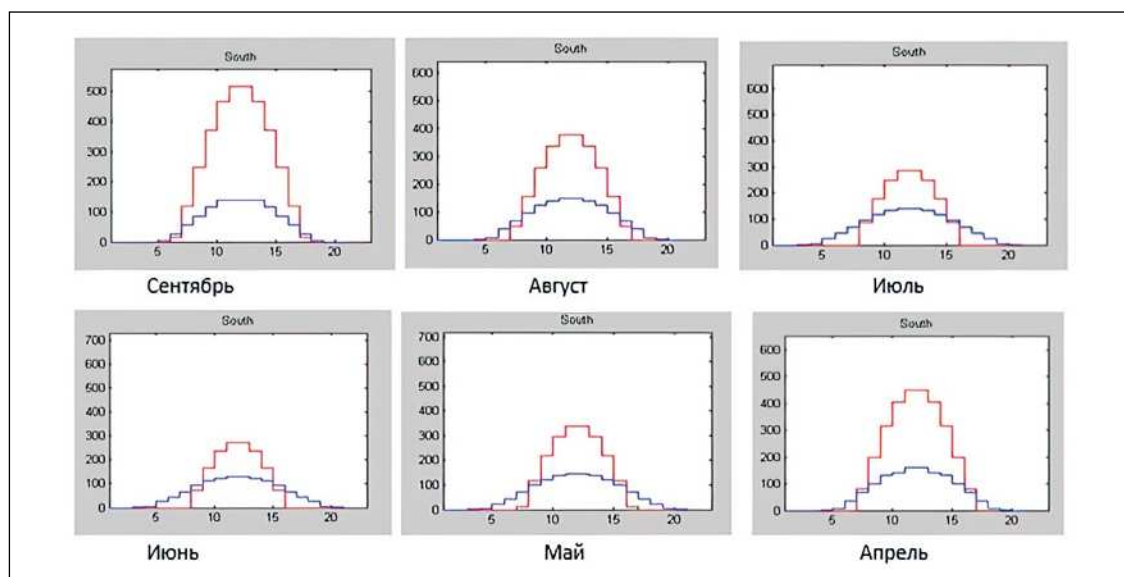
Рис. 2. Солнечная карта с зонами перегрева и желательной инсоляции для Симферополя

стоящих из отсеков плоскостей или ламелей, предпочтнее надо отдавать способу, основанному на использовании солнечных карт, из-за его высокой информативности и универсальности [5]. При этом положение затеняющих элементов СЗУ (рис. 1) определяется посредством солнечной карты и зависит от широты местности и ориентации фасада [5].

Солнечные карты используются для оценки необходимости отопления и кондиционирования воздуха в помещениях в разных климатических районах страны. Климатические параметры, влияющие на выбор типа СЗУ, рассмотрены в статье [6].

Периоды отопления здания образуют на солнечной карте зону желательной инсоляции, а периоды охлаждения здания – зону нежелательной инсоляции или зону перегрева. Солнечная карта с зоной перегрева и зоной желательной инсоляции в период между 22 марта и 22 сентября с суммарной годовой солнечной радиацией на горизонтальную поверхность в условиях действительной облачности для IV и V климатических зон (рис. 2) заимствована из свода правил [5].

Рис. 3. Прямая и рассеянная радиации при действительной облачности в Симферополе (Вт/м²)



Настоящая статья посвящена созданию методики определения геометрических параметров оптимизированных СЗУ и оценки их энергоэффективности с помощью солнечных карт и теневых угломеров.

Солнечная радиация и период охлаждения здания

Солнечная радиация, падающая на фасад здания, содержит прямую, рассеянную и отражённую составляющие. Отражённая радиация во многом зависит от окружающей застройки, и её учёт при проектировании крайне сложен. Данные по прямой и рассеянной радиации взяты из климатического справочника [7].

В Симферополе период охлаждения зданий длится почти пять месяцев – с 10 мая по 28 сентября [8, табл. А.2]. Это соответствует зоне перегрева на солнечной карте (рис. 2). Для этих месяцев в статье [9] приведены графики прямой и рассеянной радиации (рис. 3), показывающие, что рассеянная радиация в этот период меняется незначительно.

С достаточной для оценочных расчётов точностью, можно считать, что СЗУ экранируется лишь прямая солнечная радиация. Это согласуется с указанием в стандарте [10]: «Если иное не определено на национальном уровне, расчёт понижающих коэффициентов затенения должен основываться на следующих упрощениях. Прямая солнечная радиация поглощается преградой; рассеянная радиация и отражённая от Земли радиация остаётся неизменной. Это идентично препятствиям, которые отражают такое же количество солнечной радиации, какое и поглощают».

В общем случае коэффициент эффективности СЗУ $F_{sh,0}$ определяется как [10]

$$F_{sh,0} = \frac{I_{sol,ps,mean}}{I_{sol,mean}}$$

где $I_{sol, ps, mean}$ – средняя энергетическая освещённость рассматриваемой поверхности от солнечной радиации с учётом имеющегося затенения, Вт/м²; $I_{sol, mean}$ – средняя энергетическая освещённость рассматриваемой поверхности от солнечной радиации при отсутствии затенения.

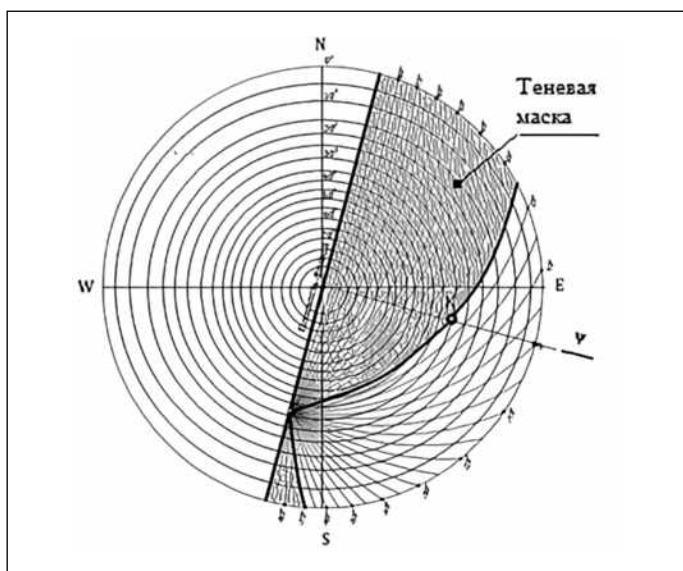


Рис. 4. Пример теневого угломера для ламелей общего положения с нанесённой теневой маской СЗУ

В статье [11] предложены формулы для расчёта коэффициентов эффективности горизонтальных (F_{ov}) и вертикальных (F_{fin}) СЗУ:

$$F_{ov} = \frac{S \cdot k + D \cdot \cos \alpha + 0,25 \cdot Q \cdot r \cdot (1 - \cos \alpha) + R}{S + D + R};$$

$$F_{fin} = \frac{\left[S k + 0,5 \cdot D \cdot (1 + \cos \beta) + 0,5 \cdot D^{\perp} \cdot (1 - \cos \beta) + 0,25 \cdot Q \cdot r \cdot (1 + \cos \beta) + 0,5 \cdot R^{\perp} \cdot (1 - \cos \beta) \right]}{S + D + R},$$

где S, D, R – энергетические освещённости облучаемой поверхности от прямой, рассеянной и отражённой от Земли солнечной радиации, Вт/м²; Q – энергетическая освещённость земной поверхности от суммарной солнечной радиации, Вт/м²; r – альbedo земной поверхности (определяется с учётом наличия снежного покрова); k – коэффициент пропускания прямой солнечной радиации СЗУ; D^{\perp} – энергетическая освещённость ребра от рассеянной солнечной радиации, Вт/м²; R^{\perp} – энергетическая освещённость ребра от отражённой (от земной поверхности) солнечной радиации, Вт/м²; α – угол затенения козырьком; β – угол затенения вертикальным ребром.

Для СЗУ общего положения можно предложить упрощённую формулу для расчёта их $F_{sh,0}$:

$$F_{sh,0} = \frac{S \cdot k + D + R}{S + D + R}.$$

где значения S, D и R определяются с учётом ориентации фасада по справочнику [7] или данным метеорологических наблюдений.

Расчёт параметров конструкции СЗУ

Солнечная карта представляет собой графический инструмент для проектирования СЗУ и определения периода инсоляции. Для инсоляционных расчётов и проектирования СЗУ, состоящих из отсеков плоскостей или ламелей, предпочтение надо отдавать способу, основанному на использовании солнечных карт [12].

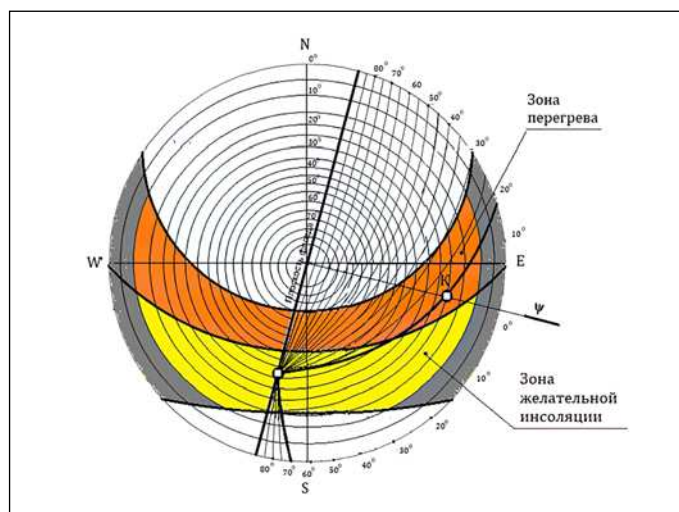


Рис. 5. Пример определения рациональной теневой маски СЗУ общего положения

Часть небесной сферы между кривой выбранного угла раскрытия и плоскостью фасада называется теневой маской СЗУ (рис. 4). Выбирать следует угол инсоляции, теневая маска которого наиболее эффективно закрывает область нежелательной инсоляции, минимально закрывая при этом область желательной инсоляции и нейтральную часть небесной сферы.

Пример. Требуется спроектировать СЗУ для окон фасада с азимутом 105° для здания в Симферополе. **Алгоритм расчёта геометрии эффективного СЗУ** таков:

1. На солнечную карту с наложенной теневой маской фасада накладываются теньевые угломеры так, чтобы плоскость фасада на угломере совпала с плоскостью фасада на теневой маске. Теньевые угломеры для расчёта разных СЗУ приведены в своде правил [5, Приложение II].

2. Теневым угломер выбирается таким образом, чтобы теневая маска максимально закрывала зону перегрева и не перекрывала большую часть зоны желательной радиации (рис. 5). Для заданной ориентации фасада целесообразно применение затеняющих элементов (ламелей) общего положения. На рис. 5 изображено применение теневого угломера с углом наклона ламелей к горизонтальной плоскости $\mu = 30^\circ$.

3. По выбранному теневоу угломеру определяется угол раскрытия $\delta = 20^\circ$ и обратный угол раскрытия $\delta_z = 70^\circ$.

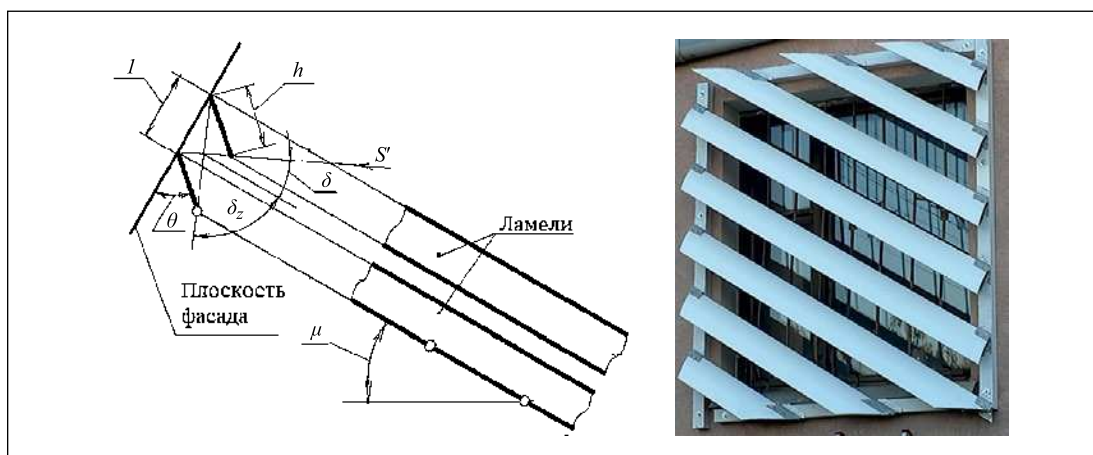
4. Выбирается угол наклона ламелей к плоскости фасада θ (рис. 6). Сегодня выпускаются кронштейны, позволяющие устанавливать ламели под углом к фасаду 90°, 60° и 45°. С помощью них может обеспечиваться значение $\theta = 45^\circ$, ближайшее к значению $\delta = 20^\circ$.

5. Если применить в рассчитываемом СЗУ ширину ламелей $h = 145$ мм (размер из принятого на практике типоразмера ламелей), то расстояние между затеняющими элементами l рассчитывается как

$$l = h \cdot (\cos \theta + \sin \theta \cdot \operatorname{tg} \delta) = 145 \cdot \cos 45^\circ \cdot (1 + \operatorname{tg} 20^\circ) \approx 140 \text{ (мм)}.$$

Максимальная инсоляция фасада будет иметься в вертикальной лучевой плоскости ψ , расположенной перпендикулярно плоскости фасада. Для проектирования СЗУ с наклонными ламелями необходимо знать угловую вы-

Рис. 6. Геометрические параметры и общий вид СЗУ общего положения:
 h – ширина ламели;
 l – расстояние между ламелями; δ – угол раскрытия; δ_z – обратный угол раскрытия; θ – угол наклона ламелей к плоскости фасада; μ – угол наклона затеняющих элементов к горизонтальной плоскости



соту Солнца φ в плоскости ψ . Последняя совпадает с нулевым направлением на теновом угломере. φ в плоскости ψ определяется по альмукантарате, с которой пересекается кривая угла раскрытия. На рис. 5 точка K есть точка пересечения кривой угла $\delta = 20^\circ$ и плоскости ψ . При этом $\varphi = 23^\circ$.

Рассмотренное СЗУ установлено на экспериментальном здании под Симферополем (рис. 6).

Выводы

Конструкция СЗУ должна, прежде всего, соответствовать ориентации фасада, обеспечивая экранирование высоких солнечных лучей в период охлаждения здания и пропускание солнечных лучей в отопительный период. Предпочтение следует отдавать способу, основанному на использовании солнечных карт и теневых угломеров, из-за его высокой информативности и универсальности. Этот способ позволяет определять параметры формы и положения СЗУ (в частности, углы наклона ламелей к горизонтальной плоскости и плоскости фасада и расстояние между ламелями), при которых будет обеспечиваться высокая энергетическая эффективность СЗУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Marsh A.J. The Application of Shading Masks in Building Simulation / 9th Int. IBPSA Conf. «Building Simulation 2005», Montreal, Canada, 2005.
2. Харкнес Е., Мехта М. Регулирование солнечной радиации в зданиях; Пер. с англ. Г.М. Айрапетовой. – М.: Стройиздат, 1984. – 177 с.
3. Куприянов В.Н., Спиридонов А.В. Расчёт параметров солнцезащитных устройств // Строительство и реконструкция. – 2019. – № 3 (83). – С. 54–62.
4. Спиридонов А.В., Дворецкий А.Т. Инсоляция и солнцезащита / Справочная книга по светотехнике. Изд-е 4 / Под общ. ред. Ю.Б. Айзенберга и Г.В. Бооса. – М.: Редакция журнала «Светотехника», 2019. – С. 553–566.
5. СП 370.1325800.2017 «Устройства солнцезащитные зданий. Правила проектирования».
6. Dvoretzky A.T., Spiridonov A.V., Shubin I.L., Klevets K.N. Accounting of Climatic Features in Designing Solar Shading Devices // Light & Engineering. – 2018. – Vol. 26, No. 2. – P. 162–166.
7. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1–6. Вып. 1–34. – Л.: Гидрометеиздат, 1989–1998.

8. Дворецкий А.Т., Спиридонов А.В., Митрофанова С.А., Денисова Т.В. О необходимости определения градусо-суток периода охлаждения зданий на территории России // Жилищное строительство. – 2019. – № 8. – С. 46–49.

9. Сергейчук О.В. Геометрична комп'ютерна модель «Atmospheric Radiation» для енергоефективного будівництва // Енергозбереження в будівництві та архітектурі. – 2011. – Вип. 1. – С. 22–28.

10. ISO 52016-1:2017 «Energy performance of buildings – Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads – Part 1: Calculation procedures».

11. 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. – 2014. – Вип. 6. – С. 267–272.

12. Дворецкий А.Т., Моргунова М.А., Сергейчук О.В., Спиридонов А.В. Методы проектирования стационарных солнцезащитных устройств // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2018. – № 11–12. – С. 6–10.



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



Сергейчук Олег Васильевич, доктор техн. наук, профессор. Окончил в 1975 г. Киевский национальный университет строительства и архитектуры. Профессор архитектурного факультета Киевского национального университета строительства и архитектуры



Спиридонов Александр Владимирович, кандидат техн. наук. Окончил в 1975 г. МЭИ по специальности «Светотехника и источники света». Главный научный сотрудник НИИСФ РААСН. Президент Ассоциации производителей энергоэффективных окон (АПРОК). Лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники