

Моделирование солнечной радиации

Теоретическое введение

В настоящее время расчет поступления солнечной радиации при проектировании систем вентиляции и кондиционирования воздуха определяют по методике изложенной, например, в справочнике [1]. Эта методика, если ее пытаться использовать для программы МОДЭН, имеет следующие недостатки:

- основная часть теоретической модели приведена разработчиками только в табличной форме,
- исходные данные не позволяют рассчитывать поступления тепловой энергии в произвольный момент времени (только за июль).

Эти недостатки заставляют разработчиков программ по расчету солнечной радиации прибегать к построению собственных моделей [2, 3], построенных на основе известных теоретических работ, например, Кондратьева К.Я. [4]. Аналогичные модели описаны и в зарубежной литературе [5]. Согласно этой теории поток прямой солнечной радиации на поверхность, расположенную под углом i к этому потоку равен [4]

$$S_s = S_{\max} \cdot \cos i \cdot K_{am}, \quad (1)$$

где

$$\cos i = \cos \alpha \cdot (\sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau) + \sin \alpha \cdot (\cos \psi_s \cdot (\tan \varphi \cdot (\sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau) - \sin \delta / \cos \varphi) + \sin \psi_s \cdot \cos \delta \cdot \sin \tau). \quad (2)$$

Для горизонтальной поверхности $\alpha = 0$.

Для вертикальной поверхности $\alpha = \pi/2$.

Значение S_{\max} носит название «солнечной постоянной» [7]. Значение этой величины равно 1362 Вт/м^2 по данным [7] и, если считать, что, примерно, 30% отражается в космос [8], по приходим к значению 900 Вт/м^2 по данным [5].

Склонение определяем по формуле [5]

$$\delta = 23,5 \cdot 2 \cdot \pi / 360 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot d / 365). \quad (3)$$

В программе МОДЭН и вышеприведенных формулах, все углы задаются в радианной мере. Значение τ , часового угла Солнца, в радианной мере определяют по формуле

$$\tau = t \cdot 2 \cdot \pi / 24. \quad (4)$$

Максимальное значение солнечной радиации (S_{\max}) существенно зависит от, так называемой, «воздушной массы», которую надо преодолеть солнечному лучу [5]. Воздушная масса равна $1/\sin hc$. Причем [4]

$$\sin hc = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau. \quad (5)$$

Значение коэффициента **K_{am}**, учитывающего поправку на воздушную массу, получено нами из анализа данных работы [5]

$$\mathbf{K_{am}=1,1254 - 0,1366 * (1/\sin hc).} \quad (6)$$

Дополнительно к прямой солнечной радиации на поверхность поступает и рассеянная радиация (небесный свет). Величину рассеянной радиации также можно представить в зависимости от воздушной массы. На основании данных работы [5] рассеянную радиацию на горизонтальную поверхность можно рассчитать по формуле

$$\mathbf{I_{max}= 137,1 - 14,82 * (1/\sin hc).} \quad (7)$$

Для произвольно расположенной поверхности в работе [5] предлагается

$$\mathbf{I_s= (137,1 - 14,82 * (1/\sin hc))*(1-0,318*\alpha/2).} \quad (8)$$

Проверка формул (7) и (8) показала, что если для горизонтально расположенных поверхностей она дает удовлетворительные результаты, то для вертикальных поверхностей результаты занижены примерно в 2 раза, по сравнению с данными [1]. Оказалось, что применение формулы (7) и для наклонных поверхностей дает лучшие результаты, чем уравнение (8).

Суммарное поступление прямой и рассеянной радиации равно

$$\mathbf{S=S_s+I_s.} \quad (9)$$

Радиация, поступающая на поверхность, может быть поглощенной, отраженной и пропущенной. Если представить долю каждого вида радиации от суммарной, соответственно, **a**, **r** и **g**, то получим [6]

$$\mathbf{a + r + g = 1.} \quad (10)$$

Для непрозрачных ограждений значение коэффициента пропускания (**g**) равно 0. Для прозрачных ограждений это значение можно найти в справочнике [1], которое называется в нем коэффициент относительного пропускания. Коэффициент поглощения **a** чаще называют степенью черноты - **ε**. Данные по **ε** можно найти в любом справочнике по теплопередаче. Понятно, что для непрозрачных поверхностей

$$\mathbf{r = 1 - \epsilon.} \quad (11)$$

Расчеты для различно расположенных конструкции

На конкретных примерах покажем, что с помощью данной модели можно рассчитывать теплоступления от солнечной радиации в любой момент времени на произвольно расположенные поверхности.

На рис.1 приведен график поступлений солнечной радиации на вертикальную поверхность в июле месяце, расположенную на 52-ом градусе северной широты и обращенную на юг.

На рис.2 приведен график поступлений солнечной радиации на горизонтальную поверхность в июле месяце, расположенную на 52-ом градусе северной широты.

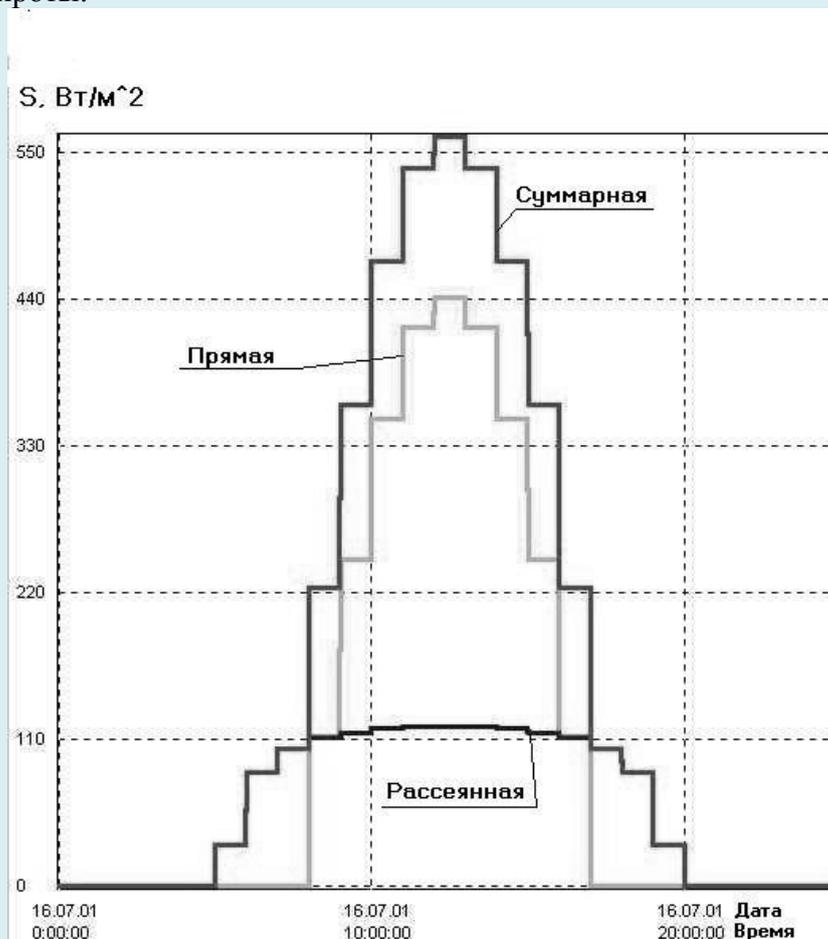


Рис.1. Поступление радиации на вертикально расположенную поверхность (июль, юг, 52° с.ш.)

Проверка модели

Как отмечают авторы работ по солнечной радиации, проверка теоретических положений осложняется рядом причин, основной из которых является получение надежных экспериментальных данных. В работе [1] имеются данные, которые используются в настоящее время при проектировании. Именно с этими данными и проведено сравнение результатов полученных на модели (рис.3). Сравнение проведено для вертикально расположенной конструкции, направленной на юг, для июля месяца. Как видно из рисунка расчетные значения хорошо совпадают с данными [1].

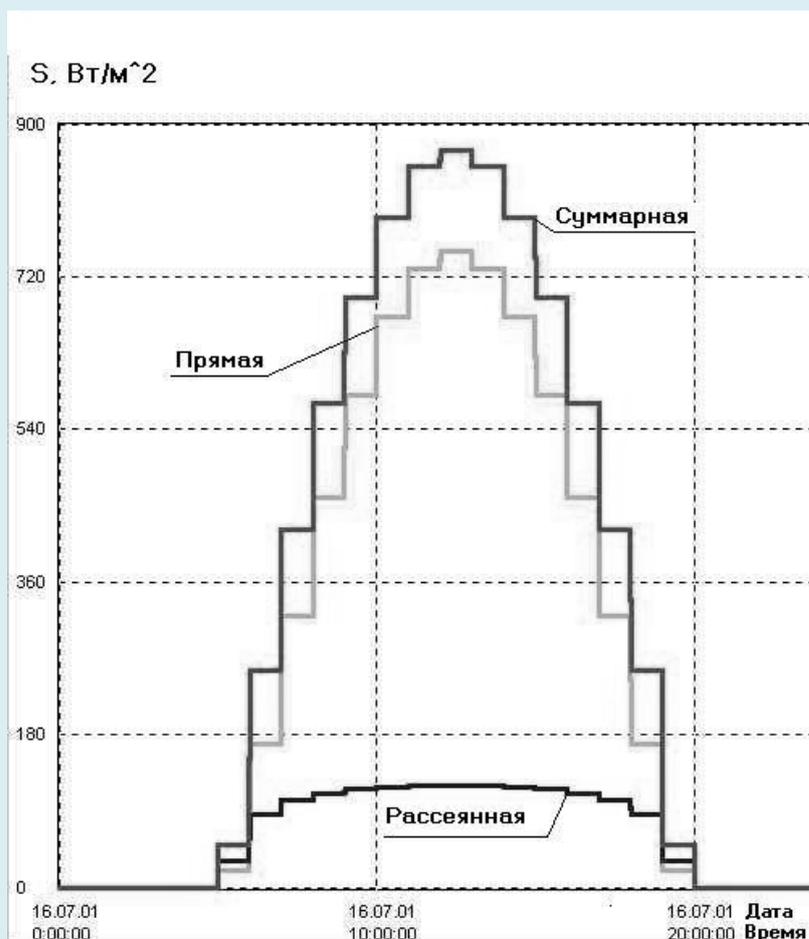


Рис.2. Поступление радиации на горизонтально расположенную поверхность (июль, 52° с.ш.)

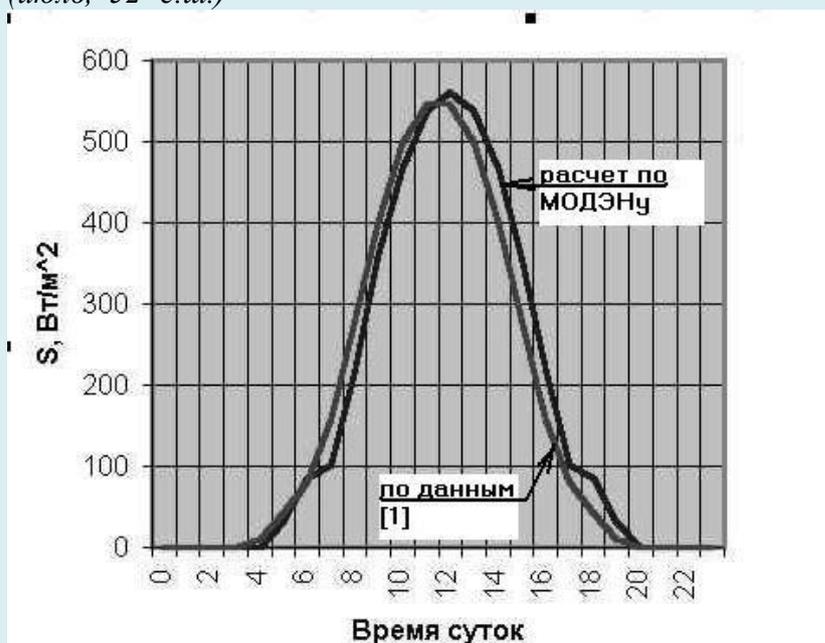


Рис.3. Сравнение поступлений суммарной радиации на вертикально расположенную поверхность (июль, 52° с.ш.)

Основные определения

Высота Солнца (h_c) в точке расположения поверхности – угол между направлением на Солнце и горизонтальной плоскостью, проходящей через данную точку.

Азимут Солнца (ψ_c) – угол между горизонтальной проекцией луча на Солнце и плоскостью меридиана. Причем этот угол отсчитывается от юга по часовой стрелке.

Склонение Солнца (δ) – угол, характеризующий сезонные изменения кажущегося положения Солнца.

Воздушная масса – длина пути солнечных лучей в атмосфере.

Условные обозначения

- a** - доля поглощенной радиации,
- d**- число дней прошедшее со дня весеннего равноденствия (21 марта),
- I**- значение рассеянной солнечной радиации на произвольно расположенную поверхность, Вт/м²,
- I_{max}**- значение рассеянной солнечной радиации на горизонтально расположенную поверхность, Вт/м²,
- i**- угол падения солнечных лучей на поверхность,
- g** - доля пропущенной радиации,
- K_{ам}** – коэффициент, учитывающий поправку на воздушную массу.
- h_c**- высота Солнца,
- r** - доля отраженной радиации,
- S_s**- поток прямой солнечной радиации на поверхность, Вт/м²,
- S_{max}**- поток прямой солнечной радиации на поверхность расположенную перпендикулярно потоку, Вт/м²,
- S**- поток прямой и рассеянной солнечной радиации на поверхность, Вт/м²,
- t**-модельное время суток.
- α**- угол наклона поверхности по отношению к горизонтальной плоскости.
- ψ_c**– азимут Солнца,
- ψ_s** – азимут поверхности,
- δ**-склонение Солнца,
- φ**-широта местности, где расположено сооружение,
- τ**-часовой угол Солнца,

Литература

1. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 1. – М.: Стройиздат, 1992. – 319 с.
2. Токарева Е.Ф. Определение поступлений прямой солнечной радиации на вертикальные поверхности разной ориентации. – Киев, КиевЗНИИЭП, 1971, - 12 с.
3. Токарева Е,Ф, Определение часовых и суточных значений прямой и диффузной солнечной радиации проникающей внутрь помещений через двойное остекление окон при различной ориентации помещений. – Киев, КиевЗНИИЭП, 1971. – 14 с.
4. Кондратьев К.Я., Пивоварова З.И., Федорова М.П. Радиационный расчет наклонных поверхностей. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. -...
5. Бринкворт Б. Солнечная энергия для человека. - М.: Мир, 1976. – 291 с.
6. Маркус Т.А., Моррис Э.Н. Здания, климат и энергия. - Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 502 с.
7. Кондратьев К.Я. Лучистая энергия Солнца. – Л.: Гидрометеиздат, 1954. – 600 с.
8. Уделл С. Солнечная энергия и другие альтернативные источники энергии. – М., Знание, 1980. – 88 с.