Математический и стереографический анализ интенсивности солнечной радиации и затенения светопроемов для расчета СКВ зданий

Д.т.н., проф. А.Г. Сотников*,
НП «АВОК Северо-Запад»

Современные административно-общественные здания имеют повышенную, а иногда и чрезмерную площадь остекления. Витражи часто занимают высоту от пола до перекрытия, а в угловых помещениях площадь окон может достигать 30–40% от общей площади ограждений как наружных, так и внутренних. Не обсуждая внешнюю привлекательность таких фасадов, обратим внимание на защиту от потерь теплоты зимой и поступления теплоты летом. Известно, что коэффициент теплопередачи окна в 4–5 раз больше, чем стены, а радиационная теплота имеет интенсивность до 700–800 Вт/м^2. Для таких помещений и зданий должна быть уточнена расчетная температура для отопления зимой. Традиционно принятая в России «пятидневочная» температура может привести к отклонениям температуры в помещении, превышающим допустимые. Периодичность воздействия радиации требует применить при ее описании гармонический анализ. В более общем случае с учетом затенения данным или соседними зданиями необходим гармонический анализ в более общем виде. Наконец, время начала и конца облучения можно определить только на основе стереографических траекторий Солнца. Все это вместе взятое позволит иначе и более точно подойти к расчету радиационных теплопритоков в помещение и определению времени его инсоляции.

Закономерности поступления теплоты в помещение и ее вычисление по своему физическому механизму принципиально отличаются для светопроемов и наружных непрозрачных ограждений (стен, кровли). Для остекленных поверхностей (рис. 1) передача теплоты за счет разности температур и солнечной радиации происходит без заметной аккумуляции и тепловой инерции при любой текущей разности температур $\Delta t = t_H(\tau) - t_B$.

Поток падающей солнечной радиации плотностью $q(\tau)$, Вт/м^2, включая прямую и рассеянную, немного отражается и поглощается стеклом, а остальная, бо́льшая, часть поступает в помещение, а точнее, в пространство между стеклом и солнцезащитным устройством, частично отражается, а частично поглощается и в виде конвективной теплоты поднимается вверх. Солнцезащитные устройства поглощают и отражают падающее излучение, а при их отсутствии поток теплоты падает на стены и оборудование (мебель) помещения. В отоплении соответствующие теплопотери через окна называют *быстрыми* в силу безинерционной передачи теплоты такой конструкцией, в отличие от *медленных* – через массивные стены и кровлю. Чем больше доля остекленных поверхностей в здании, тем оно сильнее подвержено внешним температурным, ветровым и радиационным воздействиям и тем сложнее создать человеку в таком помещении тепловой комфорт. Учитывая это, нами предложена методика расчета, связывающего расчетную отопительную температуру наружного воздуха с относительной площадью остекления [1, 2].

Суточная периодичность радиации позволяет приближенно описать ее изменение $q(\tau)$ гармоническим рядом, т.е. среднесуточной величиной (нулевой гармоникой) $q_{ср}$, первой (основной) гармоникой с амплитудой A_{q_1} и периодом τ=24 ч, второй гармоникой с амплитудой A_{q_2} и периодом τ=12 ч, третьей, четвертой и высшими гармониками [3, 4, 5]:

$$q(\tau) = q_{ср} + A_{q_1}\cos\left[2\pi\left(\tau-\tau_1\right)/24\right] + A_{q_2}\cos\left[2\pi\left(\tau-\tau_2\right)/12\right] + \ldots + A_{q_k}\cos\left[2\pi k\left(\tau-\tau_k\right)/24\right]. \qquad (1)$$

Специфическая колоколообразная форма кривой изменения $q(\tau)$ в течение суток и приближенная симметрия этой кривой относительно максимума $q_{\max}$ (в момент τ_1) позволяет описать ее суточное изменение приближенной зависимостью:

$$q(\tau) = \begin{cases} q_{\max}\exp\left[-\left(\tau-\tau_1\right)^2/2\sigma_\tau^2\right] & при\ 0<\left|\tau-\tau_1\right|<2\sigma_\tau, \\ 0 & при\ \tau_n/2>\left|\tau-\tau_1\right|>2\sigma_\tau, \end{cases} \qquad (2)$$

формально совпадающей с нормальным законом распределения (хотя к статистике это отношения не имеет). Об этом же свидетельствует и график на рис. 2,*а*, где по горизонтальной оси в специальном масштабе отложены значения накопленной от начала суток до произвольного часа τ интенсивности суммарной падающей радиации, отнесенной к ее суточной сумме.

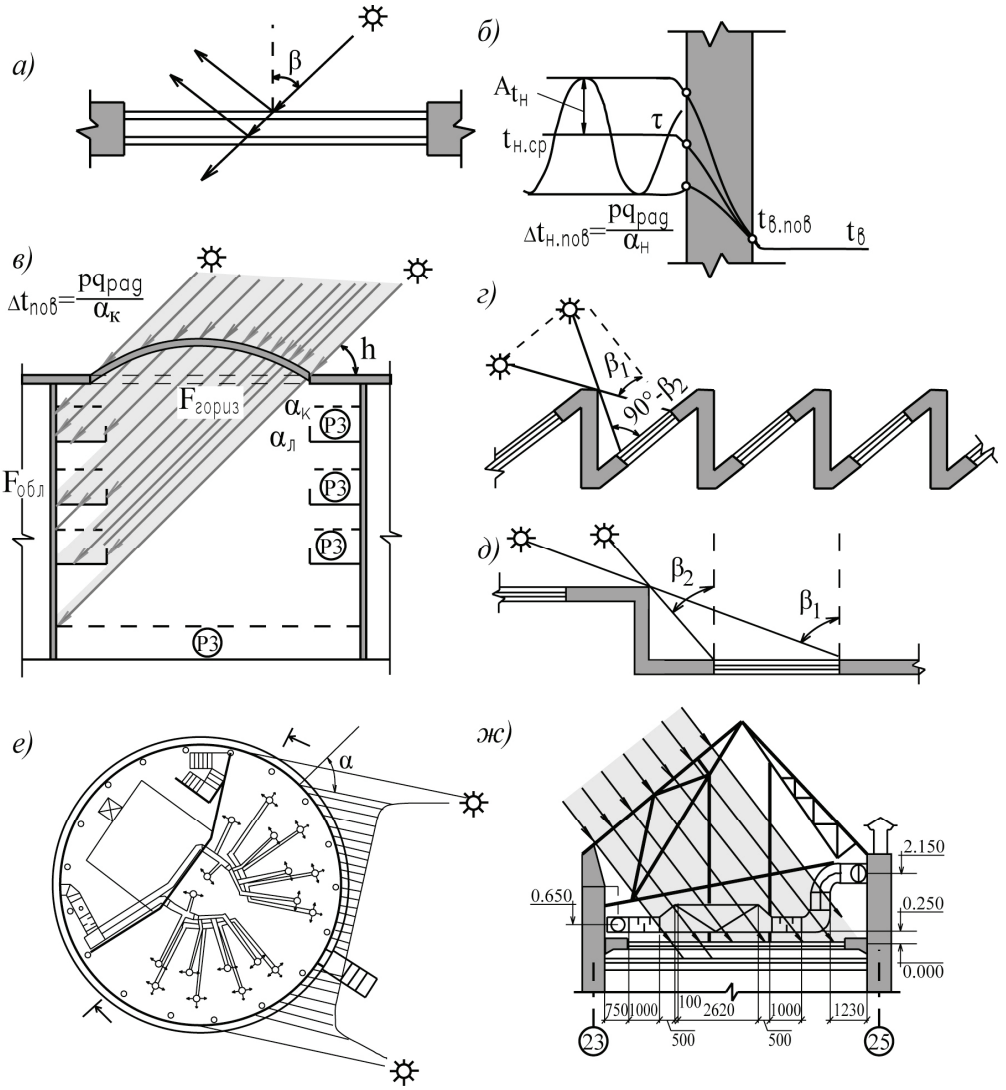


Рисунок 1. Характерные случаи и примеры воздействия солнечной радиации на прозрачные и непрозрачные ограждающие конструкции здания:

***а* – схема поступления теплоты солнечной радиации через двойное (однокамерное) остекление в помещении с частичным поглощением и отражением (средства солнцезащиты не указаны);**

***б* – схема воздействия периодического температурного или радиационного потока на непрозрачное ограждение и затухание температурных колебаний в нем;**

***в* – расчетная схема поступления лучистой теплоты через прозрачное покрытие атриума;**

***г* – схема стены пилообразной формы с наружным остеклением при его частичном затенении (комбинат печати в г. Тбилиси);**

***д* – схема воздействия солнечной радиации при наличии затеняющего угла для остекления;**

***е* – схема воздействия солнечной радиации на остекление круглой в плане формы (ресторан гостиницы «Советская», С-Петербург); в этом случае площадь криволинейной поверхности полуокружности заменяют ее проекцией на нормаль к лучам Солнца, т.е. уменьшают ее в *π*/2 раза;**

***ж* – сложная трехслойная конструкция остекления верхней части здания Корпуса Бенуа ГРМ (С-Петербург) с расположением в нем кондиционеров и воздуховодов.**

Полученные линии изменения накопленной радиации в основной (средней) части прямые, что позволяет вводить для $q(\tau)$ зависимость (2). Величина σ_τ, называемая здесь временем среднеквадратического отклонения, определяется из графика (рис. 2,*а)* как среднее из разностей моментов времени, соответствующих накопленной сумме радиации $\overline{q}(\tau)=0,50$, $\overline{q}(\tau)=0,16$ и соответствующих $\overline{q}(\tau)=0,84$, $\overline{q}(\tau)=0,50$. Значения σ_τ и τ_1 (при q_{max}) представлены в табл. 1, а величины q_{max} для разной широты и ориентации (для июля) приведены на графике (рис. 2,*б*).

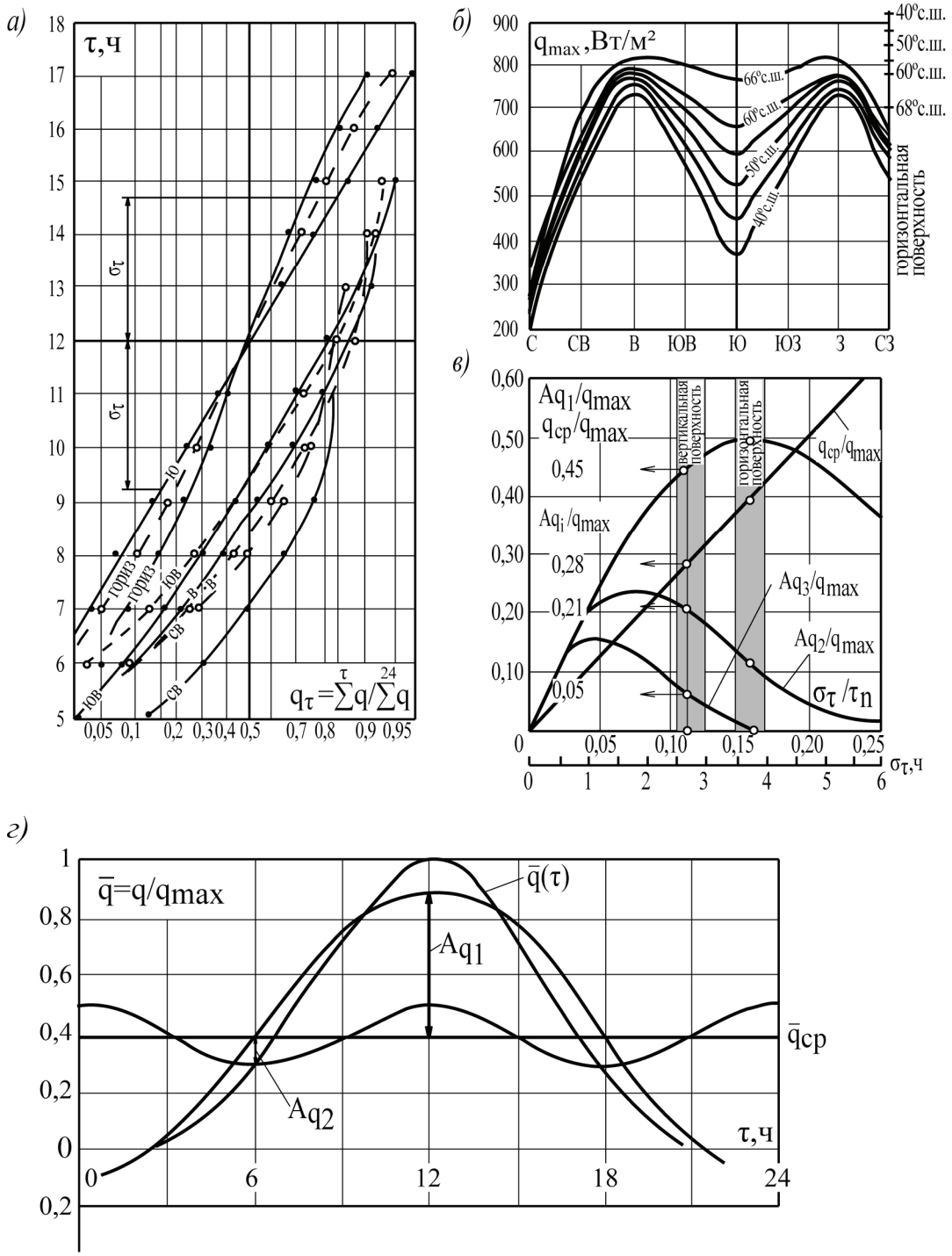


Рисунок 2. Комплексные зависимости для анализа и расчета интенсивности суммарной падающей солнечной радиации:

***а* – график почасового изменения накопленной от начала суток до произвольного часа τ интенсивности суммарной падающей радиации, отнесенной к ее суточной сумме для остекления разной ориентации и географической широты;**

***б* – зависимость максимальной интенсивности суммарной падающей солнечной радиации от географической широты и ориентации остекления по странам света;**

***в* – график для определения среднесуточной радиации и амплитуд первых трех гармоник разложения интенсивности радиации в гармонический ряд и отнесенных к максимальной плотности q_{max};**

***г* – пример представления относительной интенсивности солнечной радиации $\bar{q}(\tau) = q(\tau) / q_{max}$, падающей на горизонтальную поверхность как суммы нулевой (среднего), первой и второй гармоник ее разложения в ряд Фурье.**

Таблица 1. Значения σ_τ и часа максимума τ_1 суммарной падающей радиации для разной ориентации остекления и разной географической широты

Величина	Географическая широта, ° с.ш.	Ориентация вертикальной поверхности по странам света							Горизонтальная поверхность
		СВ	В	ЮВ*	Ю*	ЮЗ*	З	СЗ	
Интервал σ_τ, ч	40	3,0	2,6	2,5	2,7	2,5	2,6	3,0	3,4
	60	2,5	2,5	2,7	2,7	2,7	2,5	2,5	4,0
Час максимума τ_1, ч	40	8	8,5	9,5	12	14,5	15,5	16	12
	60	7	8,5	9,5	12	14,5	15,5	17	12

* Для ограждений этих ориентаций момент τ_1 максимума радиации примерно соответствует нормальному углу проекции на горизонтальную ось между лучом и вертикальной поверхностью.

Исходя из свойств периодической функции (2), время облучения вертикальных ограждений можно ограничить периодом $\tau_{обл}=4\sigma_\tau=10–12$ ч. Не учитываемая этим интервалом радиация не превысит 5% суточной величины. **Среднюю за период** $\tau_n=24$ ч **интенсивность радиации** (нулевую гармонику) можно записать как:

$$q_{cp}=\frac{2}{\tau_n}\int_0^{\tau_n/2} q(\tau)d\tau=\frac{2}{\tau_n}\int_0^{2\sigma_\tau} q_{\max}\exp\left[-\left(\tau-\tau_1\right)^2/2\sigma_\tau^2\right]d\tau^*\approx\frac{2}{\tau_n}\int_0^{+\infty} q_{\max}\exp\left[-\left(\tau-\tau_1\right)^2/2\sigma_\tau^2\right]d\tau. \qquad (3)$$

*Замена предела с $2\sigma_\tau$ на $+\infty$ в формулах (2) и (3) произведена для возможности непосредственного вычисления этого интеграла.

Среднее значение интенсивности солнечной радиации определяется по формуле:

$$q_{cp}=\sqrt{2\pi}q_{\max}\sigma_\tau/\tau_n\approx 0,1\sigma_\tau q_{\max}. \qquad (4)$$

Амплитуда *k*-й гармоники разложения интенсивности радиации определяется по зависимости:

$$A_{q_k}=\frac{4}{\tau_n}\int_0^{\tau_n/2} q(\tau)\cos\left(2k\pi\tau/\tau_n\right)d\tau=\frac{4q_{\max}}{\tau_n}\int_0^{2\sigma_\tau}\exp\left[-\left(\tau-\tau_1\right)^2/2\sigma_\tau^2\right]\cos\left(2k\pi\tau/\tau_n\right)d\tau\approx$$
$$\approx\frac{4q_{\max}}{\tau_n}\int_0^{+\infty}\exp\left[-\left(\tau-\tau_1\right)^2/2\sigma_\tau^2\right]\cos\left(2k\pi\tau/\tau_n\right)d\tau=2\sqrt{2\pi}\left(\sigma_\tau/\tau_n\right)q_{\max}\exp\left(-2k^2\pi^2\sigma_\tau^2/\tau_n^2\right). \qquad (5)$$

Учитывая, что $2\sqrt{2\pi}\approx 5$ и $\pi^2\approx 10$, получаем:

$$A_{q_k}=5\exp\left(-20k^2\sigma_\tau^2/\tau_n^2\right)q_{\max}\sigma_\tau/\tau_n. \qquad (6)$$

Из этой формулы следует, что амплитуда *k*-й гармоники A_{q_k} разложения интенсивности солнечной радиации в гармонический ряд, отнесенная к максимальной интенсивности $q_{\max}$, зависит лишь от порядкового номера гармоники *k* и интервала времени σ_τ. Последний зависит в основном от того, какая поверхность (горизонтальная или вертикальная) рассматривается. От ориентации же вертикальной поверхности и географической широты величина σ_τ меняется сравнительно мало (см. табл. 1).

Амплитуда первой (основной) гармоники разложения интенсивности солнечной радиации (при *k*=1) выражается зависимостью:

$$A_{q_1}=5\exp\left(-20\sigma_\tau^2/\tau_n^2\right)q_{\max}\sigma_\tau/\tau_n. \qquad (7)$$

Амплитуда второй гармоники разложения интенсивности солнечной радиации (при *k*=2) выражается зависимостью:

$$A_{q_2}=5\exp\left(-80\sigma_\tau^2/\tau_n^2\right)q_{\max}\sigma_\tau/\tau_n. \qquad (8)$$

Для определения относительной величины среднесуточной радиации $q_{\text{ср}}/q_{\max}$ и относительных амплитуд первой (основной), второй и третьей гармоник разложения $A_{q_k}/q_{\max}$ построен график (рис. 2,*в*).

Воздействие прерывистой солнечной радиации на остекление при произвольном начале и конце облучения является наиболее общим и физически правильным случаем расчета. Рассмотрим эту двумерную задачу в плоском варианте, т.е. на плане помещения, этот случай описан в книге автора [3]. Прерывистость радиации объясняется затенением остекления близкорасположенными строениями данного

или соседних зданий (рис. 1,*д*). При таком затенении можно определить средние моменты начала $\tau_{2.ср}$ и конца $\tau_{3.ср}$ облучения. В более сложном случае прерывистость радиации объясняется изменением состояния атмосферы (облачности), является неупорядоченной и аналитическому расчету не подлежит.

Рассмотрим остекление помещения длиной L_0-l_0, затеняемое выступом шириной b_0, удаленным от дальнего края остекления на расстояние L_0 (рис. 3,*а*).

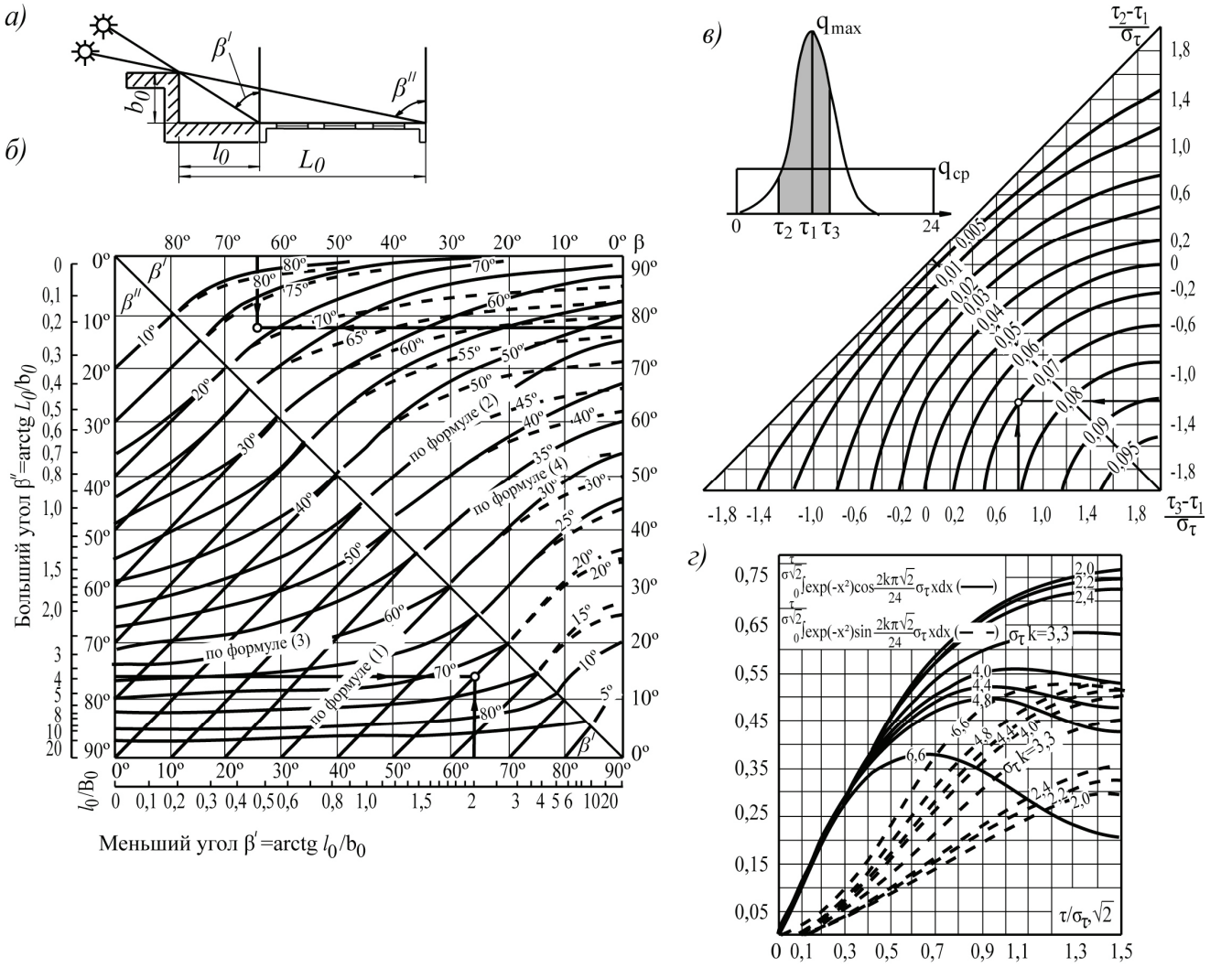


Рисунок 3. Комплекс номограмм для расчета прерывистой солнечной радиации, поступающей на остекление помещения (в плане):

***а* – схема прерывистой солнечной радиации при затенении остекления выступом здания;**

***б* – номограмма для определения среднего момента начала или конца прерывистого облучения остекления, определяемого по формулам (8) – (11);**

***в* – номограмма для определения средней за сутки прерывистой радиации в долях от максимальной часовой при произвольных моментах начала τ_2 и конца τ_3 облучения остекления;**

***г* – график для определения значений интегралов (13) и (14) при определении амплитуд первой (основной) и второй гармоник разложения прерывистой солнечной радиации в ряд Фурье.**

Чем меньше ширина выступа b_0 и чем больше длина окна L_0-l_0, тем дольше движется граница тени вдоль поверхности остекления. Это время в пределе может достигать $\Delta\tau$=6 ч. Поэтому принцип определения среднего момента начала или конца облучения остекления имеет во многих случаях большое значение. При разных способах усреднения получаем разные толкования среднего времени начала и конца облучения. Для упрощения задачи первоначально предположим, что за время движения границы тени по остеклению интенсивность падающей радиации не меняется.

Расчет времени начала и конца облучения будем проводить от момента τ_1', когда направление солнечного луча в плане нормально к поверхности остекления. В соответствии с замечанием к табл. 1, момент

τ_1' совпадает с моментом τ_1 максимума падающей радиации для южной, юго-западной и юго-восточной ориентации остекления. Угол, образованный солнечным лучом и нормалью к поверхности остекления, обозначим β. Рассмотрим следующие принципы усреднения момента начала или конца прерывистой радиации.

1. За момент начала или конца радиации на остекленной поверхности принимают такой, при котором угол β является **средним** между его крайними значениями β' и β'' на облучаемой поверхности:

$$\tau_1' - \tau_{2.ср} = \tau_{3.ср} - \tau_1' = 24\beta_{ср} / 2\pi = 24(\beta' + \beta'') / 4\pi = 24(arctgl_0 / b_0 + arctgL_0 / b_0) / 4\pi. \quad (8)$$

2. За момент начала или конца радиации на остекленной поверхности принимают такой, который соответствует моменту **среднеинтегрального** угла β:

$$\tau_1' - \tau_{2.ср} = \tau_{3.ср} - \tau_1' = 24\beta_{ср.инт} / 2\pi = 24arctg\left(\frac{1}{\beta'' - \beta'}\ln\frac{\cos\beta'}{\cos\beta''}\right) / 2\pi. \quad (9)$$

3. За момент начала или конца радиации на остекленной поверхности принимают такой, когда облучается **половина длины** рассматриваемого остекления:

$$\tau_1' - \tau_{2.ср} = \tau_{3.ср} - \tau_1' = 24\beta_{ср.l} / 2\pi = 24arctg\left[\left(L_0 + l_0\right) / 2b_0\right] / 2\pi. \quad (10)$$

4. За момент начала или конца радиации на остекленной поверхности принимают такой, когда облучается **среднеинтегральная длина** рассматриваемого остекления:

$$\tau_1' - \tau_{2.ср} = \tau_{3.ср} - \tau_1' = 24\beta_{ср.инт.l} / 2\pi = \frac{24}{2\pi}\cdot\frac{1}{L_0 - l_0}\int_{l_0}^{L_0} arctg\left(l / b_0\right)dl =$$
$$= \frac{24}{2\pi\left(L_0 - l_0\right)}\left[l\ arctg\left(l / b_0\right) - \frac{b_0}{2}\ln\left(1 + l^2 / b_0^2\right)\right]\Bigg|_{l_0}^{L_0}. \quad (11)$$

Поясним методику сравнительного определения среднего момента начала облучения остекленной поверхности по разным методикам характерным примером.

Пример 2. *Определить среднее время начала облучения остекленной поверхности, отсчитываемое от момента, когда солнечный луч в плане нормален к поверхности, при таких данных:* b_0=3 *м*, L_0=12 *м*, l_0=6 *м*.

Если за начало радиации принять момент времени, соответствующий углу падения лучей, среднему между его крайними значениями β' *и* β'', *то по формуле* (8) *получим:*

$$\tau_1' - \tau_{2.ср} = \tau_{3.ср} - \tau_1' = 24\beta_{ср} / 2\pi = 24(\beta' + \beta'') / 4\pi = 24(arctgl_0 / b_0 + arctgL_0 / b_0) / 4\pi =$$
$$= 24\left[arctg\left(6 / 3\right) + arctg\left(12 / 3\right)\right] / 2\pi = 4,5 \text{ ч}.$$

Если за начало радиации принять момент времени, соответствующий среднеинтегральному углу, то по формуле (9) *получим:*

$$\tau_1' - \tau_{2.ср} = \tau_{3.ср} - \tau_1' = 24\beta_{ср.инт} / 2\pi = 24arctg\left(\frac{1}{\beta'' - \beta'}\ln\frac{\cos\beta'}{\cos\beta''}\right) / 2\pi =$$
$$= 24arctg\left[1 / \left(76^\circ - 64^\circ\right)\ln\left(\cos 64^\circ / \cos 76^\circ\right)\right] / 2\pi = 4,7 \text{ ч}.$$

Если за начало радиации принять момент времени, когда облучается половина длины остекления, то по формуле (10) *получим:*

$$\tau_1' - \tau_{2.ср} = \tau_{3.ср} - \tau_1' = 24\beta_{ср.l} / 2\pi = 24arctg\left[\left(L_0 + l_0\right) / 2b_0\right] / 2\pi = 24arctg\left[\left(12 + 6\right) / 2\cdot 3\right] / 2\pi = 4,8 \text{ ч}.$$

Если за начало радиации принять момент времени, соответствующий среднеинтегральной длине тени, то по формуле (11) *получаем:* $\tau_1' - \tau_{2.ср} = 4,7$ ч. *Таким образом, в условиях данного примера разные способы определения среднего времени начала и конца радиации при его прерывистом воздействии дают близкие результаты.*

Различие результатов усреднения будет возрастать, когда угол $\beta' \to 0$, а угол $\beta'' \to \pi/2$, что имеет место при геометрических размерах, соответствующих неравенствам: $L_0 \gg l_0$ и $L_0 \gg b_0$. Для практического определения среднего момента начала или конца облучения по формулам (8)-(11) на рис. 3,*б* приведена номограмма.

Для более детального анализа нужно определить первые гармоники разложения прерывистой солнечной радиации. В общем случае амплитуда *k*-й гармоники такого разложения определяется как:

$$A_{q_k} = \sqrt{\left(A'_{q_k}\right)^2 + \left(A''_{q_k}\right)^2}. \qquad (12)$$

Интервалы времени $\tau_{3.ср}$-τ_1 и $\tau_{2.ср}$-τ_1, отнесенные к среднеквадратическому отклонению σ_τ, обозначим через $\overline{\tau}_3$ и $\overline{\tau}_2$. Первая составляющая амплитуды:

$$A'_{q_k} = \frac{2}{\tau_n} q_{\max} \int_{\overline{\tau}_2\sigma_\tau}^{\overline{\tau}_3\sigma_\tau} \exp\left[-\left(\tau-\tau_1\right)^2 / 2\sigma_\tau^2\right] \cos\left(2k\pi\tau/\tau_n\right) d\tau = \frac{2\sqrt{2}\sigma_\tau}{\tau_n} \int_{\overline{\tau}_2\sigma_\tau}^{\overline{\tau}_3\sigma_\tau} \exp\left(-x^2\right) \cos\left(2k\pi\sqrt{2}\sigma_\tau x/\tau_n\right) dx \qquad (13)$$

Аналогично выражается вторая составляющая амплитуды:

$$A''_{q_k} = \frac{2}{\tau_n} q_{\max} \int_{\overline{\tau}_2\sigma_\tau}^{\overline{\tau}_3\sigma_\tau} \exp\left[-\left(\tau-\tau_1\right)^2 / 2\sigma_\tau^2\right] \sin\left(2k\pi\tau/\tau_n\right) d\tau = \frac{2\sqrt{2}\sigma_\tau}{\tau_n} \int_{\overline{\tau}_2\sigma_\tau}^{\overline{\tau}_3\sigma_\tau} \exp\left(-x^2\right) \sin\left(2k\pi\sqrt{2}\sigma_\tau x/\tau_n\right) dx \qquad (14)$$

Значения интегралов (13) и (14) при нулевом нижнем пределе, произвольном верхнем пределе и переменном аргументе $k\cdot\sigma_\tau$ тригонометрических функций косинуса и синуса предварительно вычислены на ЭВМ, а результаты расчетов представлены на графике (рис. 3, *г*). Поясним методику расчета примером.

Пример 3. *Определить амплитуды основной и второй гармоник разложения интенсивности прерывистой солнечной радиации в условиях предыдущего примера. Для определения значений интегралов* (13) *и* (14) *по графику рис.* 3,*г предварительно определяем на основе данных примера* 2 $\overline{\tau}_2/\sqrt{2} = -0{,}85$, $\overline{\tau}_3/\sqrt{2} = 0{,}53$. *По графику рис.* 3,*г определяем значения четырех интегралов при двух пределах интегрирования и* $k\sigma_\tau$=2,5 *ч и четырех интегралов при двух пределах интегрирования и* $k\sigma_\tau$=5,0 ч. *Амплитуда основной гармоники:*

$$A_{q_1} = 2\sqrt{2}\sigma_\tau q_{\max} \sqrt{\left(\int_{0.I}^{0{,}53} - \int_{0.I}^{-0{,}85}\right)^2 + \left(\int_{0.II}^{0{,}53} - \int_{0.II}^{-0{,}85}\right)^2} / \tau_n =$$

$$= 2\sqrt{2}\cdot 2{,}5\cdot 770\sqrt{\left[0{,}47-\left(-0{,}62\right)\right]^2 + \left[0{,}13-\left(-0{,}23\right)\right]^2} / 24 \approx$$

$$\approx 260 \text{ Вт/м}^2.$$

Амплитуда второй гармоники:

$$A_{q_2} = 2\sqrt{2}\cdot 2{,}5\cdot 770\sqrt{\left[0{,}42-\left(-0{,}48\right)\right]^2 + \left[0{,}23-\left(-0{,}40\right)\right]^2} /$$

$$/24 \approx 250 \text{ Вт/м}^2.$$

Вычисленные амплитуды используют для оценки колебаний температуры воздуха в помещении под влиянием периодических тепловых потоков с разными периодами (*частотами*).

а)

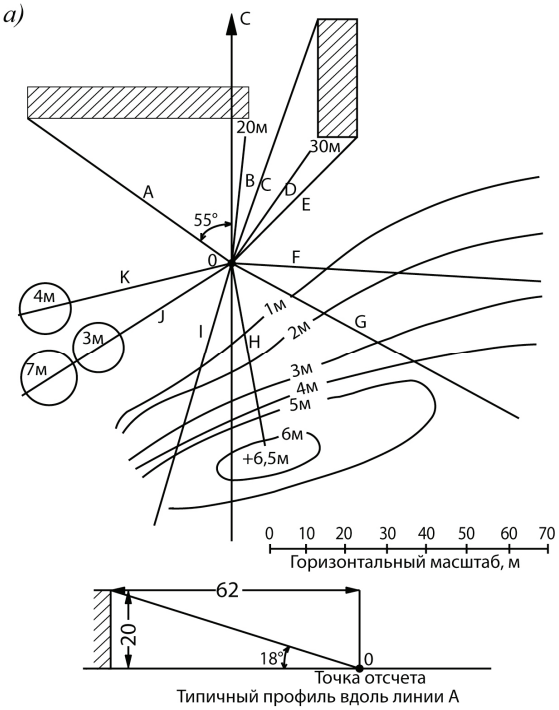
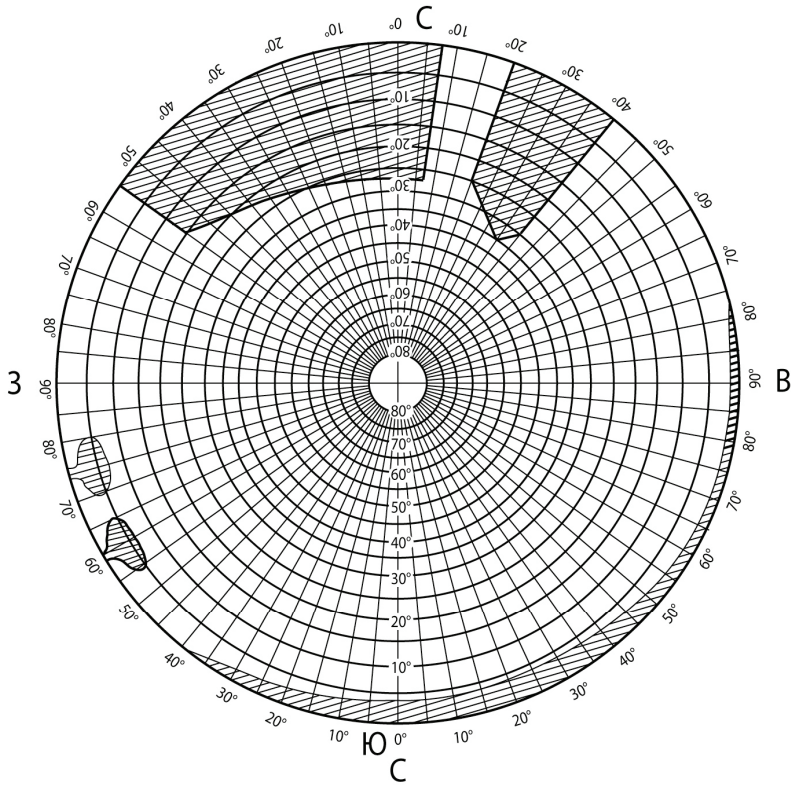


Рисунок 4. Методика использования диаграммы траектории Солнца с наложением на нее высоты и азимута затенения и распределения тени на строительной площадке:
***а* – план строительной площадки с высотами (высоты даны в метрах), *О* – точка отсчета**

б)



в)

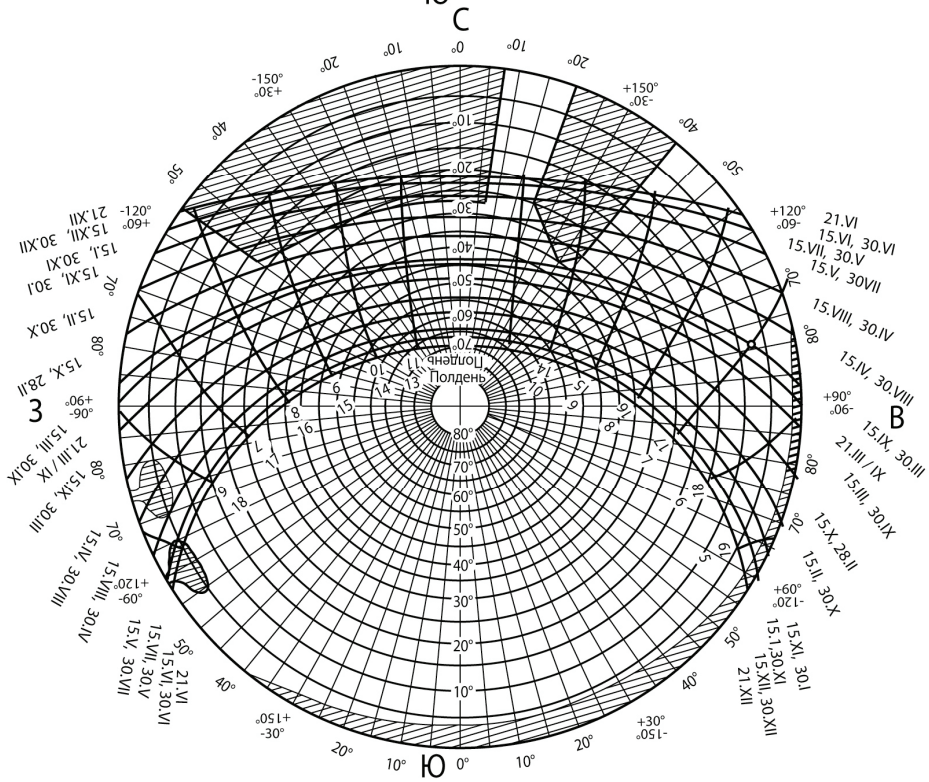


Рисунок 4. Методика использования диаграммы траектории Солнца с наложением на нее высоты и азимута затенения и распределения тени на строительной площадке:
***б* – теневая маска для 45° с.ш., построенная для точки отсчета *О* на строительной площадке;**
***в* – теневая маска строительной площадки, наложенная на диаграмму траектории Солнца.**

Определение времени облучения помещения и здания при произвольной планировке (застройке) участка и для произвольной географической широты пункта наиболее удобно производить с помощью номограмм Рейдата или солнечных карт, широко используемых за рубежом и реже в России. Подробное описание номограмм Рейдата можно найти в книге Т.А. Маркуса и Э.Н. Морриса [6]. Методика использования диаграммы траектории Солнца с наложением на нее высоты Солнца над горизонтом и азимута затенения и распределения тени на строительной площадке показана на рис. 4.

Основу номограмм составляет стереографическая проекция с изображенными на ней траекториями Солнца в разные дни и месяцы года для известной географической широты. Ряд концентрических окружностей представляют собой высоты Солнца (*h*, °), а по внешнему краю указаны азимуты. По такой сфере при наложении на нее соответствующих планшетов могут быть определены высота и азимут Солнца для любой даты и любого часа суток, а также угол падения Солнца на поверхности с разными углами наклона. Например, на рис. 4, *в* для 45° с.ш. 30 марта в 7 ч утра положение Солнца характеризуется азимутом (углом наклона к линии С-Ю) 80° и высотой Солнца над горизонтом *h*=8°. Максимальная высота Солнца над горизонтом в зависимости от географической широты, месяца и числа может быть приближенно определена по рис. 5.

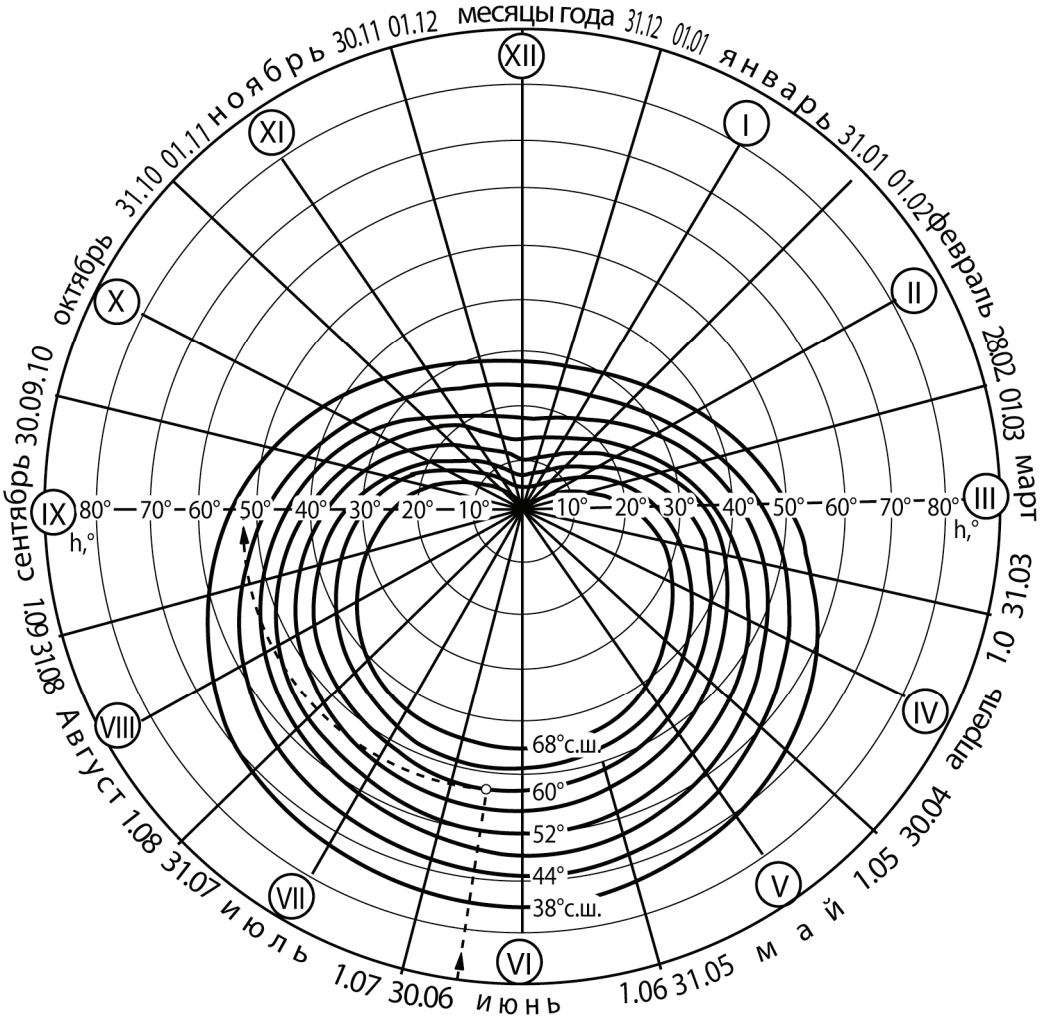


Рисунок 5. Зависимость максимальной высоты Солнца над горизонтом (угла склонения *h*, °) от географической широты пункта, месяца года и числа

Ключ: на широте С-Петербурга (60° с.ш.) 22 июня максимальная высота Солнца в полдень над горизонтом достигает *h*=53°

Каждая такая номограмма составлена для определенной географической широты, такие номограммы для разной широты от 33° до 65° представлены в [6]. Ими можно пользоваться для той же широты и в другом полушарии. На номограммах траектории Солнца нанесены часовые линии, они соответствуют истинному солнечному времени (а не декретному), когда в полдень Солнце находится точно на юге (в северном полушарии). Положение Солнца в дни равноденствий на всех широтах во время восхода точно на востоке, а во время захода – точно на западе, т.е. в 6 и 18 ч соответственно. На рис. 4,*а* показан пример определения по номограмме Рейдата продолжительности облучения территории конкретного здания с учетом его затенения препятствиями и требований норм инсоляции жилых и общественных помещений [7, 8]. Как следует из построений, в осенне-зимний период значительную часть суток здание затенено. В теплый же период года это затенение невелико. Например, в ноябре– январе строительная площадка без учета затенения освещается в течение 4–7 ч в сутки, а при затенении – лишь 2 ч утром. В июне объект затеняется в течение 2 ч из 19 ч.

Таким образом, последовательность построений и расчетов затенения (или освещения Солнцем) по этой методике следующая:

- выбрать из [6] номограмму, соответствующую географической широте расположения строительного объекта;
- выбрать точку отсчета (0) на планировке в центре рассматриваемого микрорайона;
- составить план застройки вокруг проектируемого здания, измерить расстояния до ближайших препятствий, указать их длину, ширину и высоту, а для деревьев – диаметр окружности, в которую вписывается крона деревьев;
- измерить угловые размеры препятствий согласно схеме (рис. 4,*а*);
- нанести изображения препятствий на номограмму (рис. 4,*б*), т.е. построить теневую маску;
- пользуясь номограммой на рис. 4,*в*, на которой изображены и оцифрованы суточные траектории движения Солнца для центральной и последней даты каждого месяца, определить периоды, когда данное ограждение будет освещено.

Для того чтобы определить облученность Солнцем конкретного окна, нужно вырезать сектор на номограмме и определить соответствующие ему часы суток, когда оно будет освещено. Следует отметить, что облученность зданий, как правило, в реальных условиях, особенно в высоких широтах, сокращается из-за облаков. Поэтому возможное число часов облучения здания следует уменьшить с учетом облачности.

Литература

1. Сотников А. Г. О связи расчетной отопительной температуры и мощности системы отопления с относительной площадью остекления помещения и здания // Теплоэнергоэффективные технологии: информ. бюллетень. 2009. № 4(57). С. 25–28; «С.О.К.». 2010. № 3. С. 52–54.
2. Сотников А. Г. Связь температуры и мощности отопления с площадью остекления // «С.О.К.». 2010. № 3. С. 52–54.
3. Сотников А. Г. Системы кондиционирования воздуха с количественным регулированием. Л. : Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1976. 168 с.
4. Сотников А. Г., Хомутецкий Ю. Н. Определение летних теплопоступлений для зданий с повышенной остекленностью / В кн.: Кондиционирование воздуха в промышленности. М. : ВЦНИИ охраны труда, 1973. С. 102–111.
5. Сотников А. Г., Хомутецкий Ю. Н. Метод расчета солнечной радиации / В кн.: Кондиционирование воздуха в промышленных и гражданских зданиях. Л. : ЛДНТП, 1974.
6. Маркус Т. А., Моррис Э. Н. Здания, климат и энергия / Пер. с англ. под ред. Н.В. Кобышевой и Е.Г. Малявиной. Л. : Гидрометеоиздат, 1985. 543 с.
7. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01. Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащиты помещений жилых и общественных зданий и территорий.
8. ТСН-23-359-2006. Инсоляция и солнцезащита помещений жилых и общественных зданий в Санкт-Петербурге.

** Анатолий Геннадиевич Сотников, Санкт-Петербург*
Тел. раб.: +7(812)558-48-92; эл. почта: asotnikov2005@yandex.ru