

**ГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА  
ПОСТУПАЮЩЕЙ НА ФАСАД РАССЕЯННОЙ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ  
ПРИ ЧАСТИЧНО ПЕРЕКРЫТОМ НЕБОСВОДЕ**

**GRAPHIC METHOD OF CALCULATION  
OF THE DIFFUSE SOLAR RADIATION RECEIVED ON THE FACADE  
AT PARTIALLY OBSTRUCTED SKY**

*E.V. KORKINA, V.A. ZEMTSOV, I.A. SHMAROV, V.K. SAVIN  
E.V. KORKINA, V.A. ZEMTSOV, I.A. SHMAROV, V.K. SAVIN*

(Научно-исследовательский институт строительной физики  
Российской академии архитектуры и строительных наук,  
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет)  
(Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences,  
Moscow State (National Research) University of Civil Engineering)  
E-mail: elena.v.korkina@gmail.com

*Расчеты теплопоступлений от солнечной радиации в нормативных документах приводятся без учета перекрытия части небосвода противостоящим зданием, что влияет на точность расчетов теплопоступлений и, следовательно, расхода тепловой энергии на отопление здания. В настоящей работе предложен графический метод расчета поступающей рассеянной радиации при частично перекрытом небосводе. Метод основан на использовании графиков А.М. Данилюка, применяемых в расчетах естественного освещения в зданиях, поэтому он может быть легко адаптирован к расчетам поступающей рассеянной радиации. Применение метода проиллюстрировано примером.*

*Calculations of heat gain from solar radiation are given in normative documents without overlapping of a part of a sky by the resisting building that influences the accuracy of calculations of heat gain, and, therefore, an expense of thermal energy on heating of the building. In this work the graphic method of calculation of the received diffuse radiation at partially obstructed sky is offered. The method is based on use of the schedules of A.M. Danilyuk applied in calculations of day lighting in buildings therefore it can be easily adapted to calculations of the received diffuse radiation. Application of a method is illustrated with an example.*

**Ключевые слова:** рассеянная радиация, теплопоступления, застройка, графики А.М. Данилюка.

**Keywords:** diffuse radiation, heat gain, building, A.M. Danilyuk's schedules.

Солнечная радиация, поступающая к поверхности фасадов зданий, разделяется на три составляющие: прямая, рассеянная и отраженная [1]. Прямая радиация поступает непосредственно от диска Солнца и околосолнечной зоны. Отраженная радиация – часть общей солнечной радиации (прямой и рассеянной), поступающей на горизон-

тальную поверхность, а затем отраженной от нее. Рассеянная радиация – радиация, рассеянная частицами (взвесьями, аэрозолями и кристаллами) атмосферы и, следовательно, поступающая со всего купола небосвода за исключением диска Солнца и околосолнечной зоны. При расчетах теплопоступлений от солнечной радиации в норматив-

ных документах участвуют все три компоненты радиации, при этом не учитывается влияние противостоящих зданий. Существующие математические модели учета влияния противостоящего здания [2...4] требуют применения вычислительного оборудования и не могут быть адаптированы для расчетов при массовой застройке.

В настоящей работе предложен метод, традиционно используемый в расчетах естественного освещения, основанный на применении графиков А.М. Данилюка [5] и имеющий существенное внедрение в строительную практику [6].

Известно несколько математических моделей расчета рассеянной радиации [3], [7]. В основу данной работы положена модель, основанная на изотропности распределения рассеянной радиации по небосводу  $D = \text{const}$ , которая использовалась при выводе формулы для расчета поступления общей радиации на фасады зданий [1], [8] и в дальнейшем вошла в нормативные документы [9]. Методика, изложенная в нормативных документах, включает расчет рассеянной радиации, поступающей на вертикальный фасад, через величину рассеянной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность. При этом используются справочные данные, в которых приведены значения рассеянной радиации, поступающей именно на горизонтальную поверхность для всей территории России [10]. Поэтому в данной работе также рассматривается поступление рассеянной радиации на горизонтальную поверхность с учетом перекрытия противостоящим зданием с дальнейшим пересчетом на вертикальную поверхность фасада исследуемого здания.

Радиация, отраженная от фасада противостоящего здания, в данном расчете не учитывается.

Согласно [1] при условии изотропности рассеянная радиация, поступающая на вертикальную поверхность, равняется половине рассеянной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность:

$$D^{\text{вер}} = \frac{D^{\text{гор}}}{2}. \quad (1)$$

Для определения поступающей рассеянной радиации с учетом перекрытия части небосвода противостоящим зданием исследуемый фасад здания разбивается на элементы, для каждого из которых рассчитывается поступление рассеянной радиации. Элементы имеют площадь  $1 \text{ м}^2$  и координаты по центру  $(x, y)$ . Из формулы (1) следует, что значение рассеянной радиации, поступающей на вертикальный элемент с координатами по центру  $(x, y)$ ,  $D^{\text{вер}}(x, y)$ , рассчитывается из значения рассеянной радиации, поступающей на горизонтальный элемент с такими же координатами по центру  $(x, y)$ ,  $D^{\text{гор}}(x, y)$ :

$$D^{\text{вер}}(x, y) = D^{\text{гор}}(x, y) \cdot \frac{1}{2}. \quad (2)$$

Для определения величины  $D^{\text{гор}}(x, y)$  далее рассматривается графический метод, основанный на применении графиков А.М. Данилюка.

Как известно, для расчета геометрического коэффициента естественной освещенности (КЕО) используются графики А.М. Данилюка [5]. Эти графики разработаны для определения отношения площади проекции на горизонтальную плоскую поверхность участка небосвода, видимого из незаполненного светопроема, к общей площади проекции небосвода на ту же поверхность. При этом небосвод разделяется на 10000 равноосвещенных участков, которые образуются пересечением небесных меридианов и параллелей. В разрезе и плане схемы расположения зданий с наложением графиков А.М. Данилюка подсчитывается количество лучей, проходящих через световой проем от небосвода и от противостоящего здания, затем количество лучей, определяемых на разрезе и на плане, перемножаются, и определяется отношение площади проекции видимого участка небосвода к площади проекции всего небосвода на горизонтальную плоскость.

Тогда, накладывая графики А.М. Данилюка на центр рассматриваемой горизонтальной площадки, имеющей координаты по центру  $(x, y)$ , можно определить долю

площади проекции видимого и затененного участков небосвода от проекции всего небосвода.

Участки небосвода на графиках А.М. Данилюка имеют равную освещенность, а значит и равномерно распределенное значение рассеянной радиации при условии ее изотропности. На вертикальный фасад здания поступает половина от рассеянной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность  $D^{\text{гор}}$ , при этом доля рассеянной радиации, равная  $\epsilon'_{3д}(x, y) = n'_1 n'_2 / 10000$ , соответствует перекрыванию противостоящим зданием;  $n'_1, n'_2$  – количество лучей, определенное по графикам А.М. Данилюка, в разрезе (график Данилюка I) и в плане (график Данилюка II) схемы расположения зданий, соответственно.

Графики I и II следует накладывать с учетом правил пользования [5], адаптированных для данного расчета. А именно, при наложении графика I на точку с координатой  $y$  на разрез схемы расположения зданий фиксируется номер полуокружности, проходящей через середину участка фасада противостоящего здания, определяемого горизонтальной осью графика I и верхней границей противостоящего здания. Затем график II накладывается на точку с координатой  $x$  на план схемы располо-

жения зданий с совмещением горизонтали, соответствующей зафиксированному номеру полуокружности на графике I, с линией фасада противостоящего здания. В каждом случае подсчитывается количество лучей  $n'_1, n'_2$  соответственно.

В данном методе не учитывается смещение угловой высоты линии горизонта вследствие изменения высоты рассматриваемой точки, так как оно пренебрежимо мало в сравнении с удаленностью горизонта.

Тогда рассеянная радиация, приходящая на точку окна  $(x, y)$ , с учетом формулы (2) вычисляется по формуле:

$$D_{\epsilon}^{\text{вер}}(x, y) = D^{\text{гор}}(x, y) \left[ \frac{1}{2} - \epsilon'_{3д}(x, y) \right] = \frac{D^{\text{гор}}(x, y)}{2} [1 - 2\epsilon'_{3д}(x, y)], \quad (3)$$

или

$$D_{\epsilon}^{\text{вер}}(x, y) = \frac{D^{\text{гор}}(x, y)}{2} [1 - \epsilon_{3д}(x, y)], \quad (4)$$

где  $\epsilon_{3д}(x, y)$  – коэффициент перекрытия небосвода противостоящим зданием в исследуемой точке фасада  $(x, y)$ :

$$\epsilon_{3д}(x, y) = 2\epsilon'_{3д}(x, y) = \frac{2n'_1 n'_2}{10000} = \frac{n'_1 n'_2}{5000}, \text{ (отн. ед.)}. \quad (5)$$

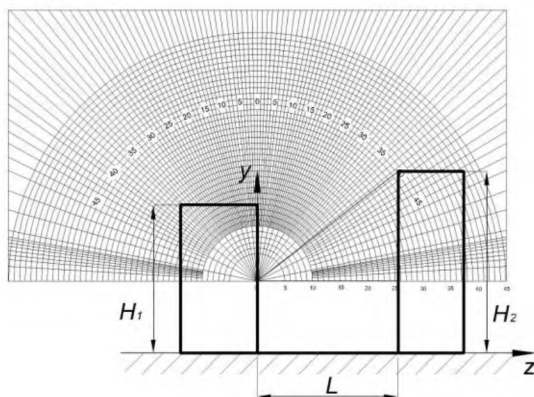


Рис. 1

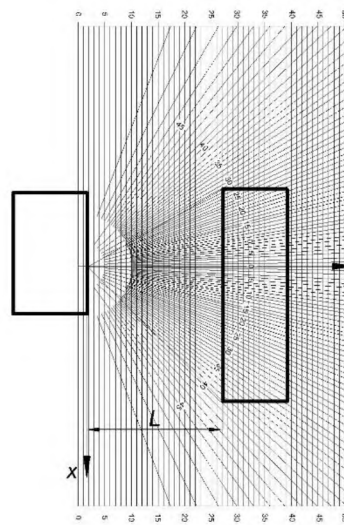


Рис. 2

Для практического использования данного метода необходимы разрез и план расположения зданий, выполненные в одном масштабе, и графики А.М. Данилюка, поэтому данный метод назван графическим.

*Пример расчета.* Проводится расчет поступления рассеянной радиации на элемент вертикального фасада исследуемого здания площадью  $1\text{ м}^2$  за отопительный период. Исследуемое здание предположительно расположено в г.Москве и в г. Краснодаре. Центр исследуемой вертикальной поверхности находится на высоте  $y = 15$  м. Противостоящее здание превышает исследуемую вертикальную поверхность на высоту  $H = 20$  м. Расстояние до противостоящего здания  $L = 25$  м. Схема расположения зданий приведена на рис. 1 в разрезе и на рис. 2 – в плане.

По графику I А.М. Данилюка определяется количество лучей от противостоящего здания в разрезе (рис. 1):  $n'_1 = 10,8$ . Как видно из рис.1, номер полуокружности, проходящей через середину участка фасада

противостоящего здания, равен 27, тогда график II А.М. Данилюка накладывается на план схемы расположения зданий с совмещением 27-й горизонтали с фасадом противостоящего здания, и определяется количество лучей, приходящее в исследуемую точку на плане схемы расположения зданий:  $n'_2 = 69$ :

$$\varepsilon_{зд}(x, y) = \frac{n'_1 n'_2}{5000} = \frac{10,8 \cdot 69}{5000} = 0,15 \text{ отн.ед.}$$

Далее для расчетов по формулам (4) и (5) подставляется полученное значение  $\varepsilon_{зд}(x, y)$  и исходные данные по поступлению  $D^{гор}$ , взятые из [10]. Результаты расчета поступающей рассеянной радиации на вертикальную поверхность площадью  $1\text{ м}^2$  без учета перекрытия небосвода  $D^{вер}(x, y)$ , МДж/м<sup>2</sup>, и с учетом перекрытия небосвода  $D_{\varepsilon}^{вер}(x, y)$ , МДж/м<sup>2</sup> приведены в табл. 1.

Таблица 1

Месяц отопительного периода	г.Москва		г. Краснодар	
	$D^{вер}(x, y)$ , МДж/м <sup>2</sup>	$D_{\varepsilon}^{вер}(x, y)$ , МДж/м <sup>2</sup>	$D^{вер}(x, y)$ , МДж/м <sup>2</sup>	$D_{\varepsilon}^{вер}(x, y)$ , МДж/м <sup>2</sup>
Октябрь	51	43	-	-
Ноябрь	25	21	38	32
Декабрь	18	15	32	27
Январь	28	23	40	34
Февраль	47	40	59	50
Март	87	74	88	74
Апрель	115	97	-	-
Сумма	368	313	256	217
Отличие $\frac{D^{вер}(x, y) - D_{\varepsilon}^{вер}(x, y)}{D^{вер}(x, y)} \cdot 100\%$	15		15	

Из данных табл. 1 видно, что значение рассеянной радиации, поступающей на элемент фасада площадью  $1\text{ м}^2$ , уменьшается на 15% относительно расчета без учета перекрытия части небосвода противостоящим зданием. Такой результат необходимо учитывать в расчетах теплопоступлений от солнечной радиации.

## ВЫВОДЫ

1. Предложен метод расчета поступающей рассеянной радиации в условиях частично перекрытого небосвода противостоящим зданием, основанный на графическом способе А.М. Данилюка определения перекрытой части небосвода. Ме-

тод традиционно используется в расчетах коэффициента естественной освещенности и доступен в широком применении в строительной практике.

2. По предложенному методу проведен расчет поступления рассеянной радиации на элемент поверхности фасада с учетом влияния противостоящего здания за отопительный период. Расчет показал необходимость учета влияния противостоящего здания, что повысит точность расчетов теплопоступлений в здание от проникающей рассеянной солнечной радиации в условиях частично перекрытого небосвода противостоящим зданием.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратьев К.Я., Пивоварова З.И., Федорова М.П. Радиационный режим наклонных поверхностей. – Л.: Гидрометеиздат, 1978.

2. Detlev Heinemann. Energy meteorology. Lecture notes postgraduate programme "Renewable energy". – Oldenburg, 2000.

3. Ivanova S.M. Estimation of background diffuse irradiance on orthogonal surfaces under partially obstructed anisotropic sky. Part II – Horizontal surfaces // Solar Energy. – V.100, 2014. P. 234...250.

4. Пигольцина Г.Б. Радиационные факторы мезо- и микроклимата. – С-Пб.: С.-Петербург. гос. лесотехн. акад., 2003.

5. Данилюк А.М. Расчет естественного освещения помещений. – Л.-М.: ГИСтройЛит, 1941.

6. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*.

7. Klucher T. Evaluation of models to predict insolation on tilted surfaces // Solar Energy. – 1979, V. 23. P. 111...114.

8. Коркина Е.В., Горбаренко Е.В., Гагарин В.Г., Шмаров И.А. Основные соотношения для расчета

облучения солнечной радиацией стен отдельно стоящих зданий. // Жилищное строительство. – 2017, №6. С. 27...33.

9. СП 23-101–2004. Проектирование тепловой защиты зданий. – М., 2004.

10. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1 – 6, вып. 1 – 34. – С-Пб.: Гидрометеиздат. 1989-1998.

#### REFERENCES

1. Kondratev K.Ya., Pivovarova Z.I., Fedorova M.P. Radiacionnyj rezhim naklonnyh poverhnostej. – L.: Gidrometeoizdat, 1978.

2. Detlev Heinemann. Energy meteorology. Lecture notes postgraduate programme "Renewable energy". – Oldenburg, 2000.

3. Ivanova S.M. Estimation of background diffuse irradiance on orthogonal surfaces under partially obstructed anisotropic sky. Part II – Horizontal surfaces // Solar Energy. – V.100, 2014. P. 234...250.

4. Pigolcina G.B. Radiacionnye faktory mezo- i mikroklimate. – S-Pb.: S.-Peterb. gos. lesotehn. akad., 2003.

5. Danilyuk A.M. Raschet estestvennogo osvesheniya pomeshenij. – L.-M.: GIStrojLit, 1941.

6. SP 52.13330.2016. Estestvennoe i iskusstvennoe osveshenie. Aktualizirovannaya redakciya SNiP 23-05-95\*.

7. Klucher T. Evaluation of models to predict insolation on tilted surfaces // Solar Energy. – 1979, V. 23. P. 111...114.

8. Korcina E.V., Gorbarenko E.V., Gagarin V.G., Shmarov I.A. Osnovnye sootnosheniya dlya rascheta oblucheniya solnechnoj radiaciej sten otdelno stoyashih zdaniij. // Zhilishnoe stroitelstvo. – 2017, №6. S. 27...33.

9. SP 23-101–2004. Proektirovanie teplovoj zashity zdaniij. – М., 2004.

10. Nauchno-prikladnoj spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 3. Mnogoletnie dannye. Chasti 1 – 6, vyp. 1 – 34. – S-Pb.: Gidrometeoizdat. 1989-1998.

Рекомендована Ученым советом НИИСФ РААСН. Поступила 18.06.18.