

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАССИВНОГО СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ

Прокопенко К.И. Аспирант АФ БНТУ

Описывается методика расчета теплопоступлений от прямой и рассеянной солнечной радиации в отопительный период для жилых зданий в условиях Республики Беларусь.

This article deals with calculation methods of heat income from direct and diffuse solar radiation during heating period for residential buildings in climate properties of the Republic of Belarus.

Введение.

Общепринятая на данный момент методика расчета теплового баланса жилых зданий, изложенная в [1,2,3], пренебрегает учетом теплопоступлений от солнечной радиации. Дело в том, что при нормах на энергопотребление 30-ти летней давности количество солнечного тепла действительно можно было игнорировать. Сегодня же, в условиях, когда энергопотребление жилых домов снизилось в среднем в пять раз, а цены на импортируемые энергоресурсы растут на 20% каждый год, такая практика является недопустимой роскошью для государства этих энергоресурсов не имеющего. Доля солнечного тепла в энергобалансе здания, построенного по современным минимальным нормам, может варьироваться от 10% до 50%. Этой бесплатной энергией нельзя пренебрегать. На сегодняшний день написано большое количество публикаций и научных работ на эту тему [4,5,6,7,8,9,10], однако, четкого понимания того как учитывать солнечное тепло при расчете энергобаланса жилого здания в климатических условиях региона Республики Беларусь до сих пор нет. Данная публикация является попыткой обобщения накопленного опыта подобных расчетов в разных климатических условиях и адаптации данных результатов для использования в инженерном теплотехническом расчете в условиях Беларуси.

Основная часть.

Уравнение теплового баланса согласно [1], выглядит следующим образом:

$$Q_s = (Q_{ts} + Q_{is}) + Q_{hin} - Q_{hs} \times \eta_1 \quad (1)$$

Где

$(Q_{ts} + Q_{is})$ — основные и добавочные годовые потери теплоты здания и годовой расход теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха, кВт×ч;

Q_{hin} — годовой расход теплоты на нагревание в воздухонагревателях наружного воздуха, подаваемого системами вентиляции с искусственным побуждением, кВт×ч;

Q_{hs} — годовые поступления теплоты от электрических приборов, освещения, технологического оборудования, коммуникаций, материалов, людей и других источников, кВт×ч;

η_1 — коэффициент, принимаемый в зависимости от способа регулирования системы отопления здания.

Для того чтобы уравнение больше отражало реальные теплофизические процессы происходящие в отапливаемом здании, необходимо ввести в (1) дополнительную переменную, которая будет обозначать теплопоступления от солнечной радиации в течение отопительного периода. Таким образом, уравнение теплового баланса должно выглядеть так:

$$Q_s = (Q_{ts} + Q_{is} * k_{rec}) - (Q_{sr} + Q_{hs}) \times \eta_1 \quad (2)$$

Где

Q_{sr} — годовые поступления теплоты от солнечной радиации,

k_{rec} — коэффициент, отражающий КПД системы рекуперации, принимаемый в зависимости от конкретного оборудования.

Для нахождения новой переменной Q_{sr} необходимо сложить месячные суммы теплопоступлений от солнечной радиации в течение отопительного периода:

$$Q_{sr} = Q_{sr1} + Q_{sr2} + \dots + Q_{sr7} - Q_{srex} \quad (3)$$

Где

$Q_{sr1} \dots Q_{sr7}$ — месячные суммы теплопоступлений от солнечной радиации

1...7 — порядковые номера месяцев отопительного периода: 1-октябрь, 2-ноябрь и т.д.

Q_{srex} — избыточные теплопоступления от солнечной радиации в отопительный период, превышающие размер теплопотерь здания.

Для региона Республики Беларусь избыточные теплопоступления возможны в марте и, особенно, в апреле месяце, в последних и самых теплых месяцах отопительного периода.

Месячные суммы солнечной радиации рассчитываются по следующему уравнению:

$$Q_{srn} = Q_{srns} + Q_{srnse} + Q_{srne} + Q_{srnne} + Q_{srnn} + Q_{srnnw} + Q_{srnsw} + Q_{srnsw} \quad (4)$$

Где

Q_{srn} — месячная сумма теплопоступлений от солнечной радиации всего здания;

Q_{srns} — месячная сумма теплопоступлений от солнечной радиации на южном фасаде здания;

Q_{srnse} — месячная сумма теплопоступлений от солнечной радиации на юго-восточном фасаде здания, и т.д. по восьми румбам.

$$Q_{srns} = (Q_{srdayst} \times K_{shday} + Q_{srdayab} \times K_{grday}) \times S_{ws} \quad (5)$$

Где

n — порядковый номер месяца отопительного периода (от 1 до 7, от октября до апреля);

$Q_{srdaysts}$ – суточная сумма прямой и рассеянной солнечной радиации в ясный день для южного фасада;

$Q_{srdayabs}$ – суточная сумма рассеянной радиации в пасмурный день для южного фасада;

K_{shday} – количество ясных дней в месяце согласно [2, 9];

K_{grday} – количество пасмурных дней в месяце согласно [2, 9];

S_{ws} – общая площадь всех светопроемов южного фасада, в которую войдут: оконные и витражные проемы, проемы под остекленные двери и т.д.

Для остальных семи направлений по румбам расчет ведется аналогично. Далее необходимо рассчитать суточные суммы тепла солнечной радиации в ясный и пасмурный дни для каждого фасада и соотношение количества таких дней в месяце.

$$Q_{srdayabs} = Q_{srdayabs} \times K_{abtransp} \quad (6)$$

Где

$Q_{srdayabs}$ – суточная сумма теплопоступлений от рассеянной солнечной радиации, приходящейся на 1м² вертикальной плоскости южного фасада в данном месяце, согласно [9];

$K_{abtransp}$ – коэффициент пропускания диффузно рассеянных солнечных лучей светопрозрачным ограждением (окном, витражом и т.д.).

Для расчета теплопоступлений в солнечный ясный день ($Q_{srdaysts}$) необходимо просуммировать тепло прямой солнечной радиации и тепло рассеянной солнечной радиации $Q_{srdayabs}$, так как в ясный день они будут действовать на здание совместно.

$$Q_{srdaysts} = Q_{srdaysts} \times k_{sttransp} \times \cos_{fairs} \times k_{shades} + k_{solardefs} + Q_{srdayabs} \quad (7)$$

Где

$Q_{srdaysts}$ – суточная сумма теплопоступлений от прямой солнечной радиации, приходящейся на 1м² вертикальной плоскости южного фасада в данном месяце, согласно [9];

$k_{sttransp}$ – коэффициент пропускания прямых солнечных лучей светопрозрачным ограждением (окном, витражом и т.д.).

\cos_{fairs} – “средний” косинус горизонтального угла падения прямых солнечных лучей относительно вертикальной плоскости южного фасада.

k_{shades} – коэффициент затененности светопрозрачных ограждений южной ориентации глухими элементами заполнения (конструкциями профилей) и окружающими объектами (застройкой, деревьями, сооружениями и т.д.)

$k_{solardefs}$ – коэффициент затененности светопрозрачных ограждений южной ориентации солнцезащитными устройствами.

Расчет коэффициента k_{shade}

Для того чтобы определить величину коэффициента необходимо определить какую долю от общей площади светопрозрачных ограждений фасада на протяжении ясного дня данного месяца будут составлять затененные участки. Для решения данной задачи предлагается комбинированное использование двух современных САПР: AutoCAD и 3DStudioMax. Эти САПР характерны для практики проектирования в Республике Беларусь.

Необходимо выстроить траектории мнимого движения солнца по небосводу в соответствии с [11], и расположить на них источники света с параллельными лучами которые будут имитировать прямую солнечную радиацию. Таким образом, можно имитировать воздействие прямой солнечной радиации на любую градостроительную ситуацию в любой трехчасовой отрезок отопительного периода (Рис.1). Следующим этапом является построение упрощенной модели рассматриваемой градостроительной ситуации. После построения модели

необходимо воспользоваться инструментами визуализации и сделать последовательно ряд изображений, на которых будет отчетливо видно воздействие прямых солнечных лучей на фасады здания в каждый трехчасовой отрезок светового дня каждого месяца отопительного периода (Рис.2).

Используя полученные изображения можно вычертить маски затенения на фасадах исследуемого здания выполненных в AutoCAD. Каждому трехчасовому отрезку будет соответствовать своя маска затенения, по четыре маски для каждого фасада на каждый месяц отопительного периода (Рис.3).

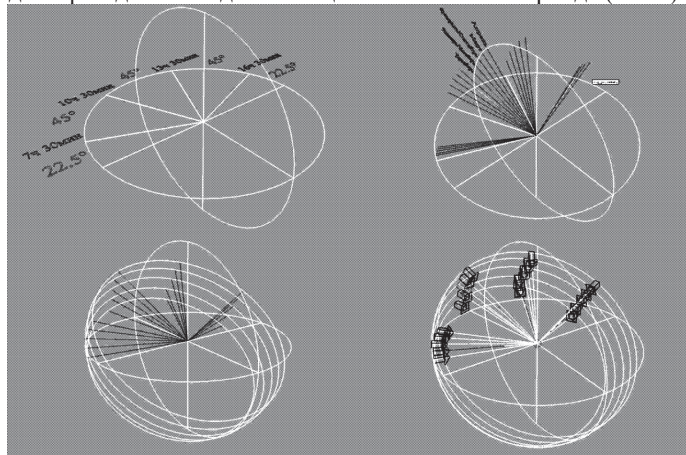


Рисунок 1. Построение модели имитирующей прямую солнечную радиацию в 3DStudioMax

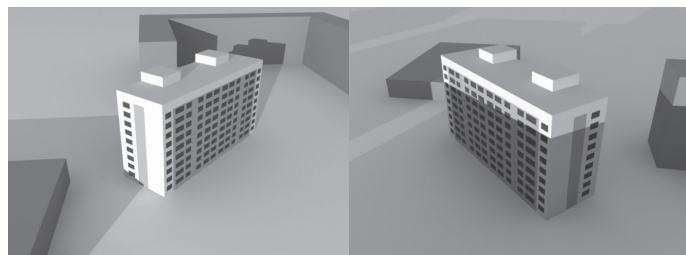


Рисунок 2. Построение модели имитирующей прямую солнечную радиацию в 3DStudioMax

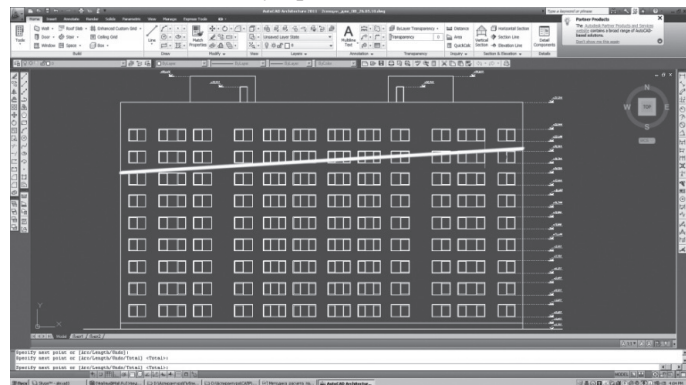


Рисунок 3 Обмер площадей затененных светопроемов по маскам затенения в AutoCAD

Данные января и ноября будут идентичны так же как данные февраля и октября. Имея графически выполненные в AutoCAD результаты, можно измерить площади затененных фрагментов светопроемов. Таким образом:

$$k_{shades} = k_{profile} * (Q_{srdaystshade} / (Q_{srdayst} / 100)) / 100 \quad (8)$$

Где

$Q_{srdaystshade}$ – суточная сумма теплопоступлений от прямой солнечной радиации, приходящейся на 1 условный м² вертикальной плоскости южного фасада пониженная влиянием прямого затенения;

$Q_{srdayst}$ – суточная сумма теплопоступлений от прямой солнечной радиации, приходящейся на 1м² вертикальной плоскости южного фасада в данном месяце, согласно [9];

$k_{profile}$ – коэффициент, отражающий долю светопрозрачных элементов в конструкции заполнения светопроемов.
 $Q_{srdaysshade} = Q_{srst1} \times k_{shades1} + Q_{srst2} \times k_{shades2} + Q_{srst3} \times k_{shades3} + Q_{srst4} \times k_{shades4}$ (9)

Где Q_{srst1} – сумма теплоступлений первого трехчасового отрезка (6ч-9ч) светового дня от прямой солнечной радиации, приходящейся на 1 условный м2 вертикальной плоскости южного фасада, согласно [9];

$k_{shades1}$ – доля свободно освещенной прямыми солнечными лучами площади светопроемов южного фасада в первый трехчасовой отрезок (6ч-9ч) светового дня;

Q_{srst2} ; $k_{shades2}$ – соответствующие показатели второго трехчасового отрезка светового дня (9ч-12ч) и т.д.

$$k_{shades1} = (S_{shades1} / (S_{lights} / 100)) / 100$$
 (10)

Где S_{lights} – общая площадь светопроемов южного фасада; $S_{shades1}$ – площадь светопроемов южного фасада, свободно освещенная прямыми солнечными лучами в первый трехчасовой отрезок светового дня (6ч-9ч) данного месяца.

Расчет избыточных теплоступлений от солнечной радиации в весенние месяцы Q_{srex} .

Необходимо сразу оговориться, что расчет данного показателя необходим лишь в одной ситуации, при которой жилое здание является многоэтажным либо еще большим по габаритам и в нем применяется система механической вентиляции с рекуперацией тепла удаляемого воздуха.

Если условия требуют расчета, то он проводится по следующей формуле:

$$Q_{srex} = (Q_{tsspring} + Q_{isspring}) - (Q_{hsspring} + Q_{sr6} + Q_{sr7})$$
 (11)

Где $(Q_{tsspring} + Q_{isspring})$ – основные и добавочные потери теплоты здания в весеннюю часть отопительного периода и весенний расход теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха, кВт×ч;

$Q_{hsspring}$ – поступления теплоты от электрических приборов, освещения, технологического оборудования, коммуникаций, материалов, людей и других источников, кВт×ч в весеннюю часть отопительного периода;

Q_{sr6} ; Q_{sr7} – месячные суммы теплоступлений от солнечной радиации в марте и апреле соответственно.

$$(Q_{tsspring} + Q_{isspring}) = (0.024 * (\sum Q + \sum Q_i * k_{rec}) / (t_p - t_i)) * D_{spring}$$
 (12)

Где $\sum Q$ – сумма основных и добавочных потерь теплоты здания, Вт, определяемые по приложению Ж к [1]. При расчете данного показателя за температуру наружного воздуха необходимо принимать температуру наиболее холодной пятидневки весенней части отопительного периода с обеспеченностью 0.92, а не всего отопительного периода как описано в [1], то есть для условий Минской области она будет составлять не минус 24°C, а минус 8°C;

$\sum Q_i$ – сумма расходов теплоты на нагревание наружного воздуха, инфильтрующегося в помещения здания, Вт, в весеннюю часть отопительного периода определяемые по приложению К [1]. Так же как и в случае с теплотерями наружных ограждений за температуру наружного воздуха следует принимать не минус 24°C, а минус 8°C;

k_{rec} – коэффициент, отражающий КПД системы рекуперации.

t_p – средневзвешенная по объему здания расчетная температура внутреннего воздуха, °C;

t_i – средняя температура наиболее холодной пятиднев-

ки весенней части отопительного периода с обеспеченностью 0.92 в °C, данный показатель будет составлять для условий Минской области приблизительно минус 8°C;

D_{spring} – градусосутки весенней части отопительного периода. Для условий Минской области данный показатель будет равен 792 (рассчитано по формуле 13, приведенной ниже).

$$D_{spring} = (t_p - t_{hispring}) * Z_{hispring}$$
 (13)

$t_{hispring}$ – средняя температура весенней части отопительного периода °C. Для условий Минской области будет составлять + 1.2 °C согласно [2];

$Z_{hispring}$ – продолжительность весенней части отопительного периода. Для условий Минской области будет составлять 55 дней согласно [2].

Заключение.

Учет полезного влияния солнечной радиации при инженерных расчетах помогает гораздо точнее определять общие затраты тепловой энергии на отопление и вентиляцию жилых зданий. Данные затраты для жилых зданий могут быть снижены примерно на 10 кВт*ч м2 в год в случае неудачного архитектурного решения либо на 30 кВт*ч м2 в случае учета климатических особенностей региона. Эти приблизительные цифры будут справедливы для жилых зданий любого класса по габаритным характеристикам и этажности. Игнорирование воздействия солнца на архитектуру жилища приводит к неверным выводам в области сбережения энергии и экономного расходования природных ресурсов. Данная практика проектирования [по мнению автора], является устаревшей, требует корректировки и уточнения.

Литература

1. *Отопление и вентиляция: СНБ 4.02.01–03. – Введ. – 01.01.2005. – Минск: Государственное предприятие “Стройтехнорм” Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2005. – С. 44-45.*
2. *Строительная климатология: СНБ 2.04.02–2000. – Введ. – 07.01.2001. – Минск: Государственное предприятие “Стройтехнорм” Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2001. – С. 27-30.*
3. *Изм. № 2 Строительная теплотехника: ТКП 45-2.04-43-2006 – Введ. – 07.01.2010. – Минск: Государственное предприятие “Стройтехнорм” Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010 – 1с.*
4. *Файст, В. Основные положения по проектированию пассивных домов / В. Файст. Пер. с нем. с доп. под ред. А.Е. Елохова Москва.: АСВ, 2008. 144 с.*
5. *Данилевский, Л.Н. Архитектура и энергоэффективность зданий / Л.Н. Данилевский // Архитектура и строительство 2009. – № 10. – 3 с.*
6. *Мамедов, Н.Я. Использование солнечного тепла для частичной компенсации теплотерь зданий в условиях Азербайджанской Республики / Проблемы энергетики. – 2005.-N 2. – 6 с.*
7. *Holloway, D.R. SUN TEMPERED ARCHITECTURE A Simple Design Methodology For Passive Solar Houses / D.R. Holloway [Electronic resource]. – 2009 – Mode of access: http://www.dennisrhollowayarchitect.com/Simple_Design_Methodology.html – Date of access 19.04.11*
8. *Luce, V. Passive Solar Design Guidelines for Northern New Mexico / V. Luce [Electronic resource]. -2004 – Mode of access: http://www.nmsea.org/Curriculum/Courses/Passive_Solar_Design/Guidelines/Guidelines.htm – Date of access 19.04.11*
9. *Круглова, А.И. Климат и ограждающие конструкции / А.И. Круглова – Москва: Издательство литературы по строительству, 1970. – 168 с.*
10. *Справочник по климату СССР. Вып. 7: Белорусская ССР, ч. I. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1966. – 68 с.*
11. *Елагин, Б.Т. Инсоляционные расчеты в архитектуре: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / Б.Т. Елагин, М.В. Прядко – ДГАСА. – Макеевка, 2003. – 47 с.*