УДК 697.94+628.8

© Е. Г. Малявина, канд. техн. наук, профессор
(Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет)

E-mail: emal@list.ru

© Ш. З. Усмонов, старший преподаватель
(Худжандский политехнический институт
Таджикского технического университета
им. академика М. С. Осими)

E-mail: usmonov.shuhrat@gmail.com

DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-2-188-194

© E. G. Malyavina, PhD in Sci. Tech., Professor
(National Research Moscow State University
of Civil Engineering)

E-mail: emal@list.ru

© Sh. Z. Usmonov, senior teacher
(Khujand Polytechnic Institute of Tajik Technical
University named after Academician M. S. Osimi)

E-mail: usmonov.shuhrat@gmail.com

ОГРАНИЧЕНИЕ АМПЛИТУДЫ КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОМЕЩЕНИЯ В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД ГОДА

LIMITATION OF THE OSCILLATION AMPLITUDE OF THE PREMISE TEMPERATURE IN THE WARM PERIOD OF THE YEAR

Предложено ограничивать амплитуду колебаний температуры помещения для снижения температуры помещений в теплый период года в районах со среднемесячной температурой июля 21 °С и выше. При этом учтено влияние на температуру не только солнцезащиты, обязательной к установке по действующим нормативам, но и свойств заполнения светопроема, и внутренней теплоустойчивости помещения.

Ключевые слова: солнцезащита, теплоустойчивость помещения, нормирование, процедура расчета.

It is proposed to limit the amplitude of temperature changes for lowering the temperature of premises during the warm period of year in regions with the average monthly temperature in July as 21°C and above. Herewith, influence on temperature of not only the sun protection, mandatory to installation according to operating standards, but also of the properties of filling of the light opening, and internal thermal stability of premises is considered.

Keywords: sun protection, thermal stability of premises, rating, calculation procedure.

Введение

Ограничение амплитуды колебаний температуры внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций в районах со среднемесячной температурой июля 21 °С и выше в СП 50.13330.2012 Российской Федерации и СНиП Республики Таджикистан 23-02-2009 достигается за счет увеличения сквозной теплоустойчивости наружного ограждения.

Однако в упомянутых документах это не единственное требование, направленное на снижение температуры помещения в летний период. При проектировании жилых домов в указанных выше климатических условиях необходимо предусматривать солнцезащитные устройства с коэффициентом теплопропускания не более 0,2. Этому значению коэффициента соответствует

наружная солнцезащита в виде маркиз из темной ткани. В то же время четкого критерия необходимости и достаточности запроектированной солнцезащиты не предусмотрено. В статье Ю. А. Табунщикова [1] отмечается отсутствие внимания к влиянию теплоты солнечной радиации на температурный режим помещения. Правда, в [1] делается акцент на необходимость учета среднесуточных величин в большей степени, чем амплитуды колебаний. Но Ю. А. Табунщиков сосредоточился на поступлении теплоты через массивные ограждающие конструкции, теплоустойчивость которых действительно велика, а не на проникающей через окна жилья солнечной радиации. Известно [2–4], что наиболее эффективными солнцезащитными устройствами являются наружные устройства. Причем отме-

чается, что они должны быть легкими, чтобы не накапливать теплоту за время облучения их солнцем и не отдавать ее защищаемому зданию вечером и ночью. Это последнее утверждение особенно актуально для жилых зданий.

1. Предложение критерия необходимости и достаточности

Требование необходимости солнцезащиты в российских нормативных документах было выдвинуто еще в СНиП II-3-79 (Нормы проектирования. Строительная теплотехника) и переписывается практически в неизменном виде в обновляемые нормативные документы. Однако с момента первого выдвижения этой нормы возможности затенения помещения расширились, в том числе за счет применения теплопоглощающих и теплоотражающих стекол. Требовать от солнцезащиты низкий коэффициент теплопропускания оказывается недостаточным еще и потому, что целью является не он сам, а снижение температуры помещения.

Представляется, что для достаточности мероприятий по снижению температуры помещения в расчетный летний период следует ограничить амплитуду колебаний температуры помещения, возникающих под воздействием колебаний тепловых потоков, проникающих через окна при пассивном тепловом режиме помещения. При определении этой амплитуды неизбежно придется учесть показатели внутренней теплоустойчивости помещения.

Сквозная теплоустойчивость снижает возмущающий тепловой поток, идущий от наружной среды. Так как амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности наружных массивных ограждений нормативно ограничена, колебания поступающего через массивные наружные ограждения теплового потока, вызванные колебаниями условной температуры наружной среды, при расчете амплитуды колебаний температуры помещения можно не учитывать. Предлагается сосредоточиться только на колебаниях проникающего через окна теплового потока, которые формируются суточным ходом температуры наружного воздуха и интенсивности солнечной радиации. Стабилизирующими воздействиями следует считать внутреннюю теплоустойчивость помещения, характеристики примененного заполнения оконных проемов и солнцезащиту.

Внутренняя теплоустойчивость влияет на способность помещения сохранять относительное постоянство температуры при колебаниях теплового потока внутри помещения [5] и обеспечивает тем более плавное изменение температуры в помещении, чем она больше. Что касается проветривания, то его в условиях жаркого климата устраивают в ночное время, когда температура наружного воздуха падает. Однако расход воздуха проветривания зависит от скорости ветра, его направления и аэродинамического сопротивления потоку воздуха, создаваемого пространством квартиры или другого блока помещений до выхода воздуха наружу. В связи с этим проветривание в летний период, как мероприятие по снижению температуры внутреннего воздуха, не является надежным, и рассматривать его в перечне учитываемых факторов не следует.

2. Процедура расчета

Рекомендуется следующая процедура расчета амплитуды колебаний температуры помещения.

1. Определяется амплитуда колебаний теплового потока A_Q , Вт, проникающего в помещение через окна за счет суммарной солнечной радиации и колебаний температуры наружного воздуха. Расчетной ориентацией окон следует принять запад, как ориентацию с наиболее интенсивной солнечной радиацией, принятой для ограничения колебаний температуры внутренней поверхности наружного ограждения. При этом расхождения во времени максимума интенсивности солнечной радиации и температуры наружного воздуха незначительны. Ошибка от неучета этого расхождения совсем невелика, так как основным источником теплопоступления является непосредственно проникающая солнечная радиация через лучепрозрачную часть окна. При этом учитываются размер окна, характеристики пропускания солнечной теплоты прозрачной частью окна и затенения непрозрачной. В качестве исходных климатических данных принимаются:

- разность максимальной и среднесуточной интенсивности суммарной солнечной радиации для вертикальной западной поверхности;
- максимальная амплитуда температуры наружного воздуха.

2. Определяется показатель теплоусвоения помещения U_n , Вт/°С как основная характеристика внутренней теплоустойчивости помещения.

3. Определяется амплитуда колебаний температуры помещения, °C, по формуле

$$A_t = A_Q / Y_n.$$

3. Пример расчета

Расчет амплитуды колебаний температуры помещений выполнен для реконструируемого 30-квартирного жилого дома серии 464 ТТЖ-1-464 в городе Худжанд Республики Таджикистан. В качестве расчетного помещения принимаем наименьшее рядовое. Такое помещение имеет меньшую внутреннюю теплоустойчивость по сравнению с угловым, поэтому в нем может быть большая амплитуда колебаний температуры помещения при равных колебаниях теплопоступлений. Помещение имеет следующие размеры: 3,2×6 м в плане при высоте этажа 3 м. Окно с размерами 1,6×2,1 м оснащено однокамерным стеклопакетом с мягким селективным покрытием одного стекла. Коэффициент пропускания солнечной радиации прозрачной части окна 0,54, коэффициент пропускания непрозрачными элементами 0,8, коэффициент поглощения солнечной энергии наружной поверхностью стекла 0,4. Переплеты деревянные одинарные. Коэффициент, учитывающий затенение переплетами светопроема, $\tau_2 = 0,7$. Сопротивление теплопередаче окна $R = 0,54 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$. Коэффициент пропускания солнечной радиации светлой маркизой 0,15.

Таким образом, площадь наружной стены $3,2 \cdot 3 - 1,6 \cdot 2,1 = 6,24 \text{ м}^2$. Площадь перегородок $(3,2 + 2 \cdot 6) \cdot 3 = 45,6 \text{ м}^2$. Площадь пола и потолка $3,2 \cdot 6 = 19,2 \text{ м}^2$.

Суммарная солнечная радиация на вертикальную поверхность:

- среднее суточное количество 169 Вт/м²;
- максимальная интенсивность в 16 часов составляет $561 + 179 = 740 \text{ Вт/м}^2$;
- амплитуда солнечной радиации $A_Q = 740 - 169 = 571 \text{ Вт/м}^2$.

Максимальная амплитуда колебаний температуры наружного воздуха равна половине полного суточного размаха: $A_{t_n}^{\text{расч}} = 23,8/2 = 11,9 \text{ °C}$.

Расчетная скорость ветра летом — минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль, повторяемость которой составляет 16 % и более, равна 0 м/с, но принимается равной 1 м/с. Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности окна по летним условиям $\alpha_n = 17,4 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$.

3.1. Расчет амплитуды колебания теплопоступлений через окно

Условная температура наружной среды для окна рассчитывается при условии, что максимумы солнечной радиации и температуры наружного воздуха наблюдаются с разбежкой во времени в 1 ч. Поэтому амплитуды колебаний температуры можно складывать без учета несопадения во времени:

$$A_{t_{\text{усл}}} = 11,9 + \frac{571 \cdot 0,4}{17,4} = 25,0 \text{ °C}.$$

Амплитуда колебаний теплового потока солнечной радиации, прошедшей через прозрачную часть окна и от нагревания окна:

$$A_Q = 1,6 \cdot 2,1 (571 \cdot 0,54 \cdot 0,8 \cdot 0,15 + 25,0/0,54) = 279,9 \text{ Вт}.$$

3.2. Определение показателя теплоусвоения жилой комнаты

При расчете показателя теплоусвоения помещения следует определять коэффициенты теплоусвоения на внутренних поверхностях ограждений.

Коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности наружной стены равен $4,37 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$, керамзитобетонных перегородок $1,42 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$, потолка $17,98 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$, пола $4,51 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$, окна $2,35 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$.

Показатель теплоусвоения помещения определяется по формуле

$$Y_n = \Sigma(Y_i \cdot A_i) = 6,24 \cdot 4,37 + 45,6 \cdot 1,42 + 19,2 \cdot 17,98 + 19,2 \cdot 4,5 + 3,36 \cdot 2,35 = 531,5 \text{ Вт/°C}.$$

3.3. Расчет амплитуды колебаний температуры помещения

Амплитуда колебаний температуры помещения рассчитывается как отношение амплитуды теплового потока и показателя теплоусвоения помещения:

$$A_t = A_Q / Y_n = 279,9/531,5 = 0,53 \text{ °C}.$$

Если бы не было солнцезащиты и стекла с низкоэмиссионным покрытием в окне, то $A_Q = 1,6 \cdot 2,1 (571 \cdot 0,76 \cdot 0,8 + 25,0/0,54) = 1322 \text{ Вт}$;

$$A_t = A_Q / Y_n = 1322/531,5 = 2,49 \text{ °C}.$$

4. Исследование влияния различных факторов на амплитуду колебания температуры внутреннего воздуха

Далее в таблице приведены результаты расчетов амплитуды колебаний температуры помеще-

Исходные данные и результаты расчетов

№ п/п	Вариант солнцезащиты	Глубина помещения, м	Площадь перегородок, м ²	Площадь пола (потока), м ²	Показатель теплопоглощения помещения, Вт/°С	Коэффициент пропускания солнечной радиации стеклопакетом	Коэффициент пропускания солнечной радиации солнцезащитой	Амплитуда теплового потока A_Q , Вт	Амплитуда температуры помещения A_t , °С
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Маркиза + селективное покрытие	6	45,6	19,2	531,5	0,54	0,15	279,9	0,53
2	Маркиза + обычное стекло	6	45,6	19,2	531,5	0,76	0,15	330,5	0,62
3	Светлая внутренняя штора	6	45,6	19,2	531,5	0,76	0,4	622,2	1,17
4	Светлые внутренние жалюзи	6	45,6	19,2	531,5	0,76	0,6	855,4	1,61
5	Селективное покрытие	6	45,6	19,2	531,5	0,54	1	984,4	1,85
6	Обычное стекло	6	45,6	19,2	531,5	0,76	1	1322	2,49
7	Маркиза + селективное покрытие	5	39,6	16	451,1	0,54	0,15	279,9	0,62
8	Маркиза + обычное стекло	5	39,6	16	451,1	0,76	0,15	330,5	0,89
9	Светлая внутренняя штора	5	39,6	16	451,1	0,76	0,4	622,2	1,38
10	Светлые внутренние жалюзи	5	39,6	16	451,1	0,76	0,6	855,4	1,90
11	Селективное покрытие	5	39,6	16	451,1	0,54	1	984,4	2,18
12	Обычное стекло	5	39,6	16	451,1	0,76	1	1322	2,93
13	Маркиза + селективное покрытие	4	33,6	12,8	370,6	0,54	0,15	279,9	0,76

Окончание таблицы

№ п/п	Вариант солнцезащиты	Глубина помещения, м	Площадь перегородок, м ²	Площадь пола (полотка), м ²	Показатель теплопоглощения помещения, Вт/°С	Коэффициент пропуска солнечной радиации стеклопакетом	Коэффициент пропуска солнечной радиации солнцезащитой	Амплитуда теплового потока A_Q , Вт	Амплитуда температуры помещения A_t , °С
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
14	Маркиза + обычное стекло	4	33,6	12,8	370,6	0,76	0,15	330,5	0,89
15	Светлая внутренняя штора	4	33,6	12,8	370,6	0,76	0,4	622,2	1,69
16	Светлые внутренние жалюзи	4	33,6	12,8	370,6	0,76	0,6	855,4	2,31
17	Селективное покрытие	4	33,6	12,8	370,6	0,54	1	984,4	2,66
18	Обычное стекло	4	33,6	12,8	370,6	0,76	1	1322	3,57
19	Маркиза + селективное покрытие	3	27,6	9,6	290,2	0,54	0,15	279,9	0,96
20	Маркиза + обычное стекло	3	27,6	9,6	290,2	0,76	0,15	330,5	1,14
21	Светлая внутренняя штора	3	27,6	9,6	290,2	0,76	0,4	622,2	2,14
22	Светлые внутренние жалюзи	3	27,6	9,6	290,2	0,76	0,6	855,4	2,95
23	Селективное покрытие	3	27,6	9,6	290,2	0,54	1	984,4	3,39
24	Обычное стекло	3	27,6	9,6	290,2	0,76	1	1322	4,55

ний различной глубины при наличии или отсутствии мероприятий по солнцезащите.

Из таблицы следует, что с уменьшением глубины помещения (графа 3), то есть его размера, падает показатель теплоусвоения помещения (графа 6), и при одинаковой солнцезащите амплитуда колебаний температуры помещения возрастает. Например, при отсутствии солнцезащиты (строки 6, 12, 18, 24) амплитуда возросла от 2,49 °С при глубине помещения 6 м до 4,55 °С при глубине помещения 3 м.

Кроме того, только в помещении глубиной 6 м внутренней теплоустойчивости достаточно, чтобы сохранять амплитуду колебаний температуры помещения не выше предлагаемой величины 2,5 °С без устройства солнцезащиты и не выше 1,5 °С без стационарной наружной солнцезащиты, а только с внутренней светлой шторой (строка 3).

Из представленной таблицы видно, что жесткое требование иметь в жилье обязательную наружную стационарную солнцезащиту с коэффициентом пропускания солнечной радиации 0,2 удовлетворяется при ограничении амплитуды колебаний температуры помещения величиной 1,5 °С при глубине помещения не менее 4 м. В более глубоких помещениях для достижения той же величины амплитуды достаточно, как сказано выше, светлой внутренней шторы. Если же ориентироваться на величину амплитуды температуры помещения 2,5 °С, то стационарную солнцезащиту обязательно необходимо устраивать при глубине помещения менее 3 м. Поэтому в настоящее время величину амплитуды колебаний температуры помещения предлагается принять такой же, что и в холодный период при теплоаккумулирующем отоплении — 2,5 °С.

Эти результаты подтверждают сложившуюся практику строительства жилых домов, когда наружная солнцезащита устраивается редко. Однако результат следует понимать так, что наружная солнцезащита желательна, особенно когда помещение обслуживается системой кондиционирования воздуха, что было подтверждено значительной экономией холода при ее применении путем математического моделирования [6, 7] теплового режима помещений.

Выводы

1. В районах со среднемесячной температурой июля 21 °С и выше предлагается ограничение

амплитуды колебаний температуры помещения в теплый период года под воздействием колебаний только теплового потока, поступающего в помещение через окна (за счет теплопередачи и лучепропускания) и стабилизируемого только пассивными (без вентиляции и кондиционирования воздуха) средствами, как критерий обязательности и достаточности этих средств.

2. Основным в предлагаемой статье является предложение ограничивать амплитуду колебаний температуры помещения в районах со среднемесячной температурой июля 21 °С и выше. Величину амплитуды колебаний температуры помещения первоначально (на данное время) предлагается принять равной 2,5 °С (как при теплоаккумулирующем отоплении в холодный период года). Для ее более жесткого установления следует выполнить экономический анализ, который должен включать оценку архитектурного решения фасада здания.

3. Примерами расчета показано, что для удовлетворения выдвинутого в предыдущем пункте требования в помещениях глубиной 6 м для снижения амплитуды колебаний достаточно собственной внутренней теплоустойчивости; для помещений глубиной 5 м уже обязательно применение ослабляющего тепловой поток от окна мероприятия, хотя бы стекла с мягким селективным покрытием в окнах; в менее глубоких помещениях достаточно светлых внутренних штор или жалюзи.

4. Применение наружных солнцезащитных устройств в виде легких маркиз и стекла с мягким селективным покрытием в окнах сокращает амплитуду колебаний температуры помещения до величины менее 1 °С при глубине помещения 3 м и менее. Легкие наружные маркизы полезны всегда, но, к сожалению, архитектурно вписываются не в каждый проект.

Библиографический список

1. Табунчиков Ю. А. О противоречивости требований к теплозащите зданий в летних и зимних условиях // АВОК. 2013. № 3. С. 48–50.
2. Спиридонов А. В., Шубин И. Л., Римшин В. И., Семин С. А. Солнцезащитные устройства: европейская и российская практика нормирования // АВОК. 2014. № 5. С. 64–71.

3. Борухова Л. Н., Шибеков А. С. Совершенствование методики расчета теплоступлений через светопрозрачные конструкции и рекомендации по их уменьшению // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2016. № 1 (59). С. 65–78.

4. Шилкин Н. В. Системы естественного освещения // Здания высоких технологий. 2016. № 3. С. 34–39.

5. Малявина Е. Г. Зависимость нагрузки на воздушную систему охлаждения помещения от его теплоустойчивости // СОК (Сантехника, отопление, кондиционирование, энергосбережение). 2015. № 12. С. 76–77.

6. Усмонов Ш. З. Моделирование энергетических параметров зданий посредством программного обеспечения WUFI*plus // Вестник МГСУ. 2013. № 7. С. 176–180.

7. Усмонов Ш. З. Методы снижения расхода энергии на охлаждение жилых зданий в условиях сухого жаркого климата северных регионов Таджикистана // Вестник МГСУ. 2013. № 9. С. 79–85.

References

1. Tabunshchikov Yu. A. *O protivorechivosti trebovaniy k teplozashchite zdaniy v letnikh i zimnikh usloviyakh* [About discrepancy of requirements to the heat-shielding of buildings in summer and winter conditions]. AVOK, 2013, no. 3, pp. 48–50.

2. Spiridonov A. V., Shubin I. L., Rimshin V. I., Semin S. A. *Solntsezashchitnye ustroystva: evropeyskaya i rossiyskaya praktika normirovaniya* [Sun-protection

devices: European and Russian practice of rationing]. AVOK, 2014, no. 5, pp. 64–71.

3. Borukhova L. N., Shibekov A. S. *Sovershenstvovanie metodiki rascheta teplopostupleniy cherez svetoprozrachnyye konstruksii i rekomendatsii po ikh umen'sheniyu* [Improvement of the method of calculation of incoming heat value through translucent designs and recommendations about their reduction]. *Ehnergetika. Izv. vyssh. ucheb. zavedeniy i ehnerg. ob'edineniy SNG – Power Industry. Bulletin of higher schools and amalgamations in the field*, 2016, no. 1 (59), pp. 65–78.

4. Shilkin N. V. *Sistemy estestvennogo osveshcheniya* [Systems of natural illumination]. *Zdaniya vysokikh tekhnologiy – Building of high technologies*, 2016, no. 3, pp. 34–39.

5. Malyavina E. G. *Zavisimost' nagruzki na vozdushnuyu sistemu okhlazhdeniya pomeshcheniya ot ego teploustoychivosti* [Dependence of load of the air cooling system of on the thermal stability of the premise]. *SOK (Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie, ehnergoberezhenie) – Plumbing fixtures, heating, conditioning, energy saving*, 2015, no. 12, pp. 76–77.

6. Usmonov Sh. Z. *Modelirovanie ehnergeticheskikh parametrov zdaniy posredstvom programmnoy obespecheniya WUFI*plus* [Modeling the power parameters of buildings by means of the WUFI*plus software]. *Vestnik MGSU – MGSU Bulletin*, 2013, no. 7, pp. 176–180.

7. Usmonov Sh. Z. *Metody snizheniya raskhoda ehnergii na okhlazhdenie zhilykh zdaniy v usloviyakh sukhogo zharkogo klimata severnykh regionov Tadzhikistana* [Methods of decreasing power consumption on cooling the residential buildings in the conditions of arid hot climate of the northern regions of Tajikistan]. *Vestnik MGSU – MGSU Bulletin*, 2013, no. 9, pp. 79–85.