

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ, ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА



УДК 699.86:697.1

Е.Г. МАЛЯВИНА, А.А. ФРОЛОВА

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОПОСТУПЛЕНИЙ В ПОМЕЩЕНИЕ ОТ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ НА УРОВЕНЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ЦЕЛЕСООБРАЗНОЙ ТЕПЛОЗАЩИТЫ ЗДАНИЯ

Задача повышения энергетической эффективности наружных ограждающих конструкций часто рассматривается как необходимость увеличения их сопротивления теплопередаче. При этом основным показателем эффективности служит сокращение расходов теплоты на отопление зданий, но сейчас все больше строится зданий, в которых размещаются гражданские технологии с высокими тепловыделениями (административно-офисные, зрелищные, учебные, торговые и т. д.), где требуются большие затраты энергии на охлаждение, зачастую даже в отопительный период. Учет теплопоступлений от солнечной радиации, с переменной интенсивностью в течение года, вносит в выбор уровня теплозащиты значительные коррективы. Это связано с тем, что часто охлаждение помещения необходимо в периоды, когда температура наружного воздуха ниже максимально допустимой температуры помещения. В эти периоды усиленная теплозащита является препятствием естественному оттоку теплоты из помещений. Расчеты показали, что чем выше теплопоступления от солнечной радиации, тем меньшую долю зданий энергетически целесообразно утеплять по базовым нормам, предусмотренным в СП 50.13330.2012.

К л ю ч е в ы е с л о в а: варианты теплозащиты, доля остекления фасада, отопление здания, охлаждение здания, тепловыделения в помещении.

DOI 10.32683/0536-1052-2019-728-8-56-66

Экономия энергии является приоритетным направлением в строительстве. Важнейшей задачей при этом следует считать выбор целесообразной теплозащиты зданий по энергетическим соображениям [1–12]. Это значит, что теплозащита здания должна приводить к минимальному энергопотреблению системами обеспечения теплового микроклимата помещений. В российских нормативных документах¹ до сих пор при сравнении вариантов теплозащиты из всех энергозатрат, идущих на поддержание тепловых условий в помещении, учитываются только затраты тепловой энергии на его отопление. Одна-

¹ СП 345.1325800.2017. Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты / Минстрой России. М., 2017.

© Малявина Е.Г., Фролова А.А., 2019

ко было неоднократно показано, что для зданий, в которых круглогодично поддерживаются требуемые микроклиматические условия, следует учитывать энергозатраты как на отопление помещений, так и на их охлаждение [13–15].

При выборе целесообразной теплозащиты должны учитываться как климатические условия, в которых находится здание, так и его конфигурация и этажность. Важным обстоятельством при этом являются теплоступления в помещения здания. В работах [13–15] нами рассматривались административно-офисные здания, в которых традиционно затеняются окна от солнца во избежание бликов и дополнительных к технологическим поступлений теплоты. В то же время существует масса зданий, имеющих время рабочего дня с 9 до 18 ч, в которых солнечная энергия или затеняется не полностью, или не затеняется вовсе.

Цель настоящей статьи – определение целесообразных уровней теплозащиты здания при определенных сочетаниях конфигураций этих зданий, уровней теплоступлений в них и степени солнцезащиты окон.

Исследование выполнено расчетным путем. Расчету подвергались здания прямоугольной формы с одинаковой шириной, равной 20,2 м по наружному обмеру. Длина зданий изменялась от 13,6 до 115,6 м. Все торцевые стены зданий – глухие (без окон). Этажность зданий варьировалась от 1 до 40 этажей. Доля остекления продольных стен представлена в двух вариантах: 0,25; 0,55. Окна достаточно плотные, чтобы не учитывать инфильтрацию. Отдельные характеристики некоторых зданий приведены в табл. 1.

Здания состоят из помещений одинаковых размеров 6,8×10,1×3,9 (h) м четырех видов: рядовые промежуточных этажей, рядовые верхнего этажа, угловые на промежуточных этажах, угловые на верхнем этаже. Помещения имеют большую глубину (10,1 м), что приводит к значительному разбросу тепловыделений, приходящихся на единицу площади наружных ограждающих конструкций. Например, в рядовых помещениях среднего этажа наружные ограждения имеют суммарную площадь 26,5 м², а в угловых верхнего – 134,6 м².

Было рассмотрено три варианта теплозащиты здания, отличающихся друг от друга сопротивлением теплопередаче наружной стены и покрытия. Для варианта 1 сопротивление теплопередаче наружной стены и покрытия приближается к нормируемому формулой (5.4) СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» по санитарно-гигиеническим условиям. Вариант 3 тепло-

Таблица 1. Основные геометрические показатели здания

Показатель	Вариант здания					
	1	2	3	4	5	6
Длина здания, м	13,6	20,4	61,2	88,4	115,6	115,6
Этажность	2	1	15	24	22	40
Общая площадь здания, м ²	549	412	18 544	42 856	51 373	93 405
Площадь наружных ограждений, м ²	802	729	10 760	22 116	25 638	44 705
Объем здания, м ³	2 143	1 607	72 320	167 140	200 353	364 279
Коэффициент компактности здания	0,567	0,710	0,166	0,143	0,140	0,129

защиты соответствует базовым нормам, исходя из энергосбережения по табл. 3 того же СП. Для варианта 2 сопротивления теплопередаче наружных стен и покрытий рассчитаны по формуле (5.1) того же СП с применением понижающего коэффициента 0,63 для стен и 0,8 для покрытия по отношению к варианту 3.

Величины сопротивлений теплопередаче для наружных ограждающих конструкций, соответствующие вариантам 1, 2 и 3, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, для стен: 1,347; 1,704; 2,629; для покрытий: 1,490; 2,871; 3,621. Сопротивление теплопередаче окон во всех вариантах принято равным $0,54 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Удельные теплопоступления в помещения учитывались с 9 до 18 ч и выбраны на шести уровнях, $\text{Вт}/\text{м}^2$: 0, 15, 30, 50, 70 и 80. В эту величину не входит проникающая через окна солнечная радиация.

Обращается внимание на то, что в годовых энергозатратах рассматривалась только потребность зданий в теплоте и холоде на поддержание заданного теплового микроклимата помещений. Потери из-за неэффективности работы и дополнительные затраты энергии на приготовление требуемых теплоносителей систем отопления и охлаждения не учитывались. При расчетах принималось, что естественное охлаждение применяется при температуре наружного воздуха не выше $+5 \text{ °C}$.

Для определения энергетических затрат на поддержание заданного микроклимата помещений с различными сопротивлениями теплопередаче наружных ограждающих конструкций был выполнен прямой расчет нестационарного теплового режима офисных помещений при различных значениях температуры наружного воздуха. Некруглосуточная работа помещений, а значит, и некруглосуточные тепловыделения, объясняют нестационарность теплового процесса. В качестве инструмента исследования принята программа расчета нестационарного теплового режима помещения, в основу которой положен расчет в конечных разностях с построением неявной разностной схемы методом теплового баланса. Метод позволяет осуществить решение задачи в наиболее полной постановке при изменении коэффициентов лучистой и конвективной теплоотдачи на поверхностях ограждений без привязки величины шагов во времени к шагам по координате при достаточной точности получения результата [16].

Расчеты выполнялись при семи различных значениях температуры наружного воздуха в течение года: от расчетной для отопления до расчетной для кондиционирования воздуха в теплый период года. Весь год был поделен на семь интервалов, где выбранные для расчета значения температуры являлись их серединами. Длительность наблюдения температуры определялась по справочнику² и приведена в табл. 2.

Было принято, что объект отапливается центральной водяной системой отопления в холодный период года с местными отопительными приборами с терморегулирующими клапанами, настроенными на поддержание максимально допустимой температуры в помещениях. Для снижения к началу рабочего дня температуры помещения до минимально допустимого уровня на тепловом вводе в здание в нерабочее время в системе отопления поддерживается пониженная температура теплоносителя. При любой температуре

² Строительная климатология: Справ. пособие к СНиП 23-01-99*/ Под. ред. чл.-кор. В.К. Савина. М.: НИИ строительной физики РААСН, 2006. 258 с.

наружного воздуха накладываются два ограничения. Во-первых, мощность отопления не должна быть больше мощности системы, круглосуточно поддерживающей в помещении 20 °С. Во-вторых, температура в отопительный период к началу рабочего дня не должна быть ниже 18 °С, а к концу рабочего времени выше 24 °С.

Известно, что интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации колеблется от месяца к месяцу. Кроме того, погодные условия ежедневно меняются. Средние в многолетнем разрезе месячные суммы интенсивности прямой и рассеянной солнечной радиации приводятся климатологами в справочниках³. Приход суммарной солнечной радиации в каждый месяц года на горизонтальную поверхность является исходным материалом для расчета теплопоступлений в помещения через светопрозрачные конструкции [1].

Актинометристы разделяют месячные суммы солнечной радиации при облачном (действительные условия облачности) и ясном (безоблачном) небе. Месячные суммы солнечной радиации при действительных условиях облачности определяются усреднением данных замеров при действительной облачности с любыми формой и количеством облаков. Замеры при ясном небе в расчет не берутся. Поэтому для каждого месяца следует складывать суммы солнечной радиации при двух состояниях неба [17]. В месячной сумме суммарной солнечной радиации, приходящей на вертикальную поверхность, учитывается прямая, рассеянная и отраженная солнечная радиация по формуле

$$I_{\text{верт},m} = (S_{\text{я,гор},m} + S_{\text{обл,гор},m})K_{\text{г.в},m} + (D_{\text{я,гор},m} + D_{\text{обл,гор},m}) / 2 + (I_{\text{я,гор},m} + I_{\text{обл,гор},m})A_m / 200, \quad (1)$$

где $S_{\text{я,гор},m}$, $S_{\text{обл,гор},m}$ – месячные суммы прямой солнечной радиации в ясные дни и при действительных условиях облачности на горизонтальную поверхность в месяце m , МДж/м²;

$D_{\text{я,гор},m}$, $D_{\text{обл,гор},m}$ – месячные суммы рассеянной солнечной радиации в ясные дни и при действительных условиях облачности на горизонтальную поверхность в месяце m , МДж/м²;

$I_{\text{я,гор},m}$ и $I_{\text{обл,гор},m}$ – месячные суммы суммарной солнечной радиации в ясные дни и при действительных условиях облачности на горизонтальную поверхность в месяце m , МДж/м²;

³ Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Ч. 1–6, вып. 1–34. СПб.: Гидрометеиздат, 1989–1998.

Таблица 2. Число дней в году с температурой наружного воздуха в интервале 21,75 ... –19,2 °С

Интервал температур наружного воздуха, °С	Средняя температура интервала, °С	Продолжительность, сут
+21,75 ≤ t	+28,5	18
+10 ≤ t < +21,75	+15	114
+2,5 ≤ t < +10	+5	74
–1,55 ≤ t < +2,5	0	8
–6,25 ≤ t < –1,55	–3,1	87
–19,2 ≤ t < –6,25	–10,4	54
t ≤ –19,2	–28	9

$K_{гв,m}$ – коэффициент пересчета прямой солнечной радиации с горизонтальной поверхности на вертикальную, ориентированную на южную сторону, в месяце m ;

A_m – альbedo подстилающей поверхности в месяце m .

В табл. 3 представлены месячные суммы солнечной радиации в облачные и безоблачные дни³, которые послужили исходной информацией для дальнейших расчетов, коэффициенты пересчета прямой солнечной радиации с горизонтальной поверхности на вертикальную южной ориентации, а также альbedo подстилающей поверхности в различные месяцы года.

Для того чтобы получить сумму прихода солнечной радиации на горизонтальную поверхность при определенном интервале температуры, указанной в табл. 2, рассматривались месяцы, когда такая температура² наблюдается. Рассчитывалась средняя за сутки суммарная солнечная радиация, приходящая на горизонтальную поверхность, в каждом из указанных в табл. 2 интервалов и умножалась на число дней в интервале.

При рассмотрении теплопоступлений от солнечной радиации учитывались коэффициенты общего пропускания солнечной энергии двухкамерным стеклопакетом 0,72, переплетами 0,8 и солнцезащитными устройствами на двух уровнях: 0,4 и 1. В последнем случае считается отсутствие солнцезащиты. В качестве основного параметра для обобщения результатов расчета ранее [13, 14] выбраны удельные теплопоступления на 1 м² пола помещения здания. В этих теплопоступлениях не учитываются теплопоступления солнечной радиации через окна.

Вторым важным параметром выбран общий коэффициент теплопередачи здания $K_{общ}$. Этот коэффициент принят в качестве характеристики теплозащитных свойств здания в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита здания. Актуализированная редакция СНиП 23.02.2003». Этот коэффициент аккумулирует в себе размеры и сопротивления теплопередаче всех ограждающих конструкций здания, составляющих его теплозащитную оболочку

$$K_{общ} = \frac{1}{A_{н}^{сум}} \sum_i \frac{A_{ф,i}}{R_{\alpha,i}^{пр}}, \quad (2)$$

где $A_{н}^{сум}$ – сумма площадей всех наружных ограждений теплозащитной оболочки здания, м²;

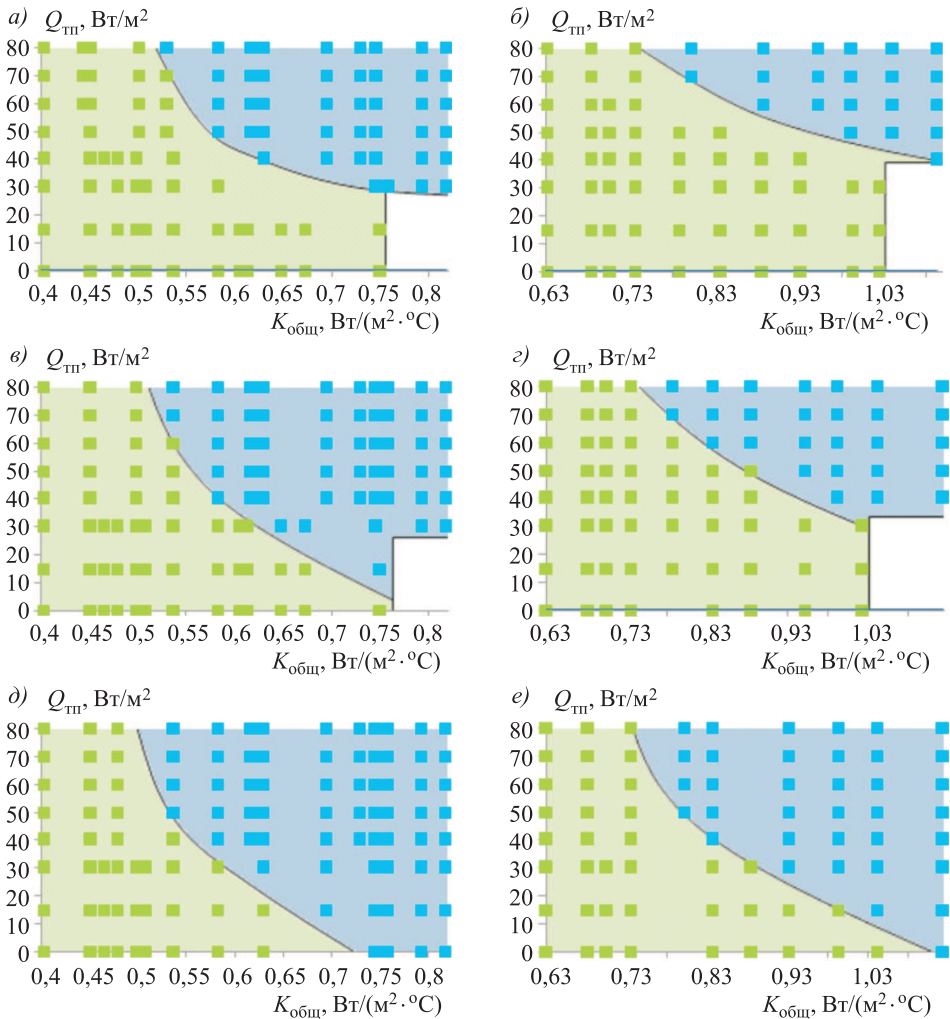
$A_{ф,i}$ – площадь i -го фрагмента теплозащитной оболочки здания, м²;

$R_{\alpha,i}^{пр}$ – приведенное сопротивление теплопередаче i -го фрагмента теплозащитной оболочки здания (м² · °С)/Вт.

Кроме того, ранее выяснено [15], что на зону сочетаний параметров здания, относящих теплозащиту к одному уровню, большое влияние оказывает размер окна. В теплотехническом отношении окно является специфической ограждающей конструкцией: во-первых, оно обладает определенным сопротивлением теплопередаче, которое в представленных расчетах остается постоянным во всех вариантах теплозащиты здания, и поэтому не может рассматриваться рядовой конструкцией. Во-вторых, в задаче, которая решается в рассматриваемой статье, окно – источник проникания в помещение солнечной радиации, и от его размера зависят нагрузки как на системы отопления помещений, так и на системы их охлаждения.

Таблица 3. Основные исходные данные для расчета теплоступлений от солнечной радиации

Месячные суммы солнечной радиации, МДж/м ²	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Прямая солнечная радиация при действительных условиях облачности на горизонтальную поверхность	12	43	109	176	278	319	286	220	124	44	14	5
Рассеянная солнечная радиация при действительных условиях облачности на горизонтальную поверхность	55	94	173	229	287	305	301	254	172	101	49	35
Суммарная солнечная радиация при действительных условиях облачности на горизонтальную поверхность	67	137	282	405	565	624	587	474	296	145	63	40
Прямая солнечная радиация в ясные дни на горизонтальную поверхность	57	138	303	434	628	707	686	472	333	211	88	38
Рассеянная солнечная радиация в ясные дни на горизонтальную поверхность	47	72	125	170	192	176	159	164	129	90	52	35
Суммарная солнечная радиация в ясные дни на горизонтальную поверхность	104	210	428	604	820	883	845	636	462	301	140	73
Суммарная солнечная радиация на вертикальную поверхность южной ориентации	461,07	706,05	965,1	839,31	883,23	850,18	839,76	837,63	805,91	707,79	519,5	330,07
Прямая и рассеянная солнечная радиация на южную поверхность при безоблачном небе до рабочего дня	4,80	25,67	52,21	70,35	71,01	66,38	68,33	68,82	60,50	36,96	14,87	2,79
Вспомогательные величины												
Коэффициент пересчета прямой солнечной радиации с горизонтальной поверхности на вертикальную южную	5,15	2,8	1,55	0,9	0,55	0,44	0,48	0,74	1,26	2,2	4,2	6,1
Альбедо A , %	64	67	50	18	21	21	20	21	21	23	40	58



Энергетически выгодные варианты теплозащиты зданий при доле остекления фасада 0,25 (а, в, д), 0,55 (б, г, е), при полном затенении (а, б), при солнцезащите с коэффициентом 0,4 (в, г), при отсутствии затенения (д, е)

Условные обозначения: голубая область – теплозащита с пониженными коэффициентами по отношению к базовой теплозащите (вариант 2); зеленая область – базовая теплозащита (вариант 3)

Расчетом исследовалась потребность в теплоте и холоде на поддержание заданного теплового режима в помещениях в течение года, причем в холодный период в отдельные дни учитывалась необходимость отопления ночью и охлаждения днем. Требование учета круглогодичного поддержания заданных температурных условий в помещениях подтверждено [13] тем, что холод требуется в течение продолжительного периода времени, когда температура наружного воздуха ниже максимально допустимой температуры помещения 24 °С. В это время увеличение сопротивления теплопередаче стен и покрытий играет отрицательную роль, так как препятствует естественному оттоку теплоты из помещения. В Москве отопительный период в среднем имеет продолжительность 205 сут, т. е. большую часть года. Даже если не учитывать экономическую составляющую более высокой цены холода по сравне-

нию с тепловой энергией, количество холода за теплый период года составляет значительную величину от количества теплоты за отопительный период. Понятно, что чем больше внутренние тепловыделения в помещении, тем больше нагрузка на охлаждающую систему и тем в большей части домов целесообразна не самая мощная теплозащита. В этой связи исследование влияния теплоступлений от солнечной радиации является вполне своевременной задачей.

На рисунке представлены зоны сочетаний уровней технологических теплоступлений и общего коэффициента теплопередачи зданий. Видно, что чем выше уровень удельных теплоступлений и значение общего коэффициента теплопередачи, тем более выгодно утеплять по варианту 2. Этот вариант относится к зданиям с уменьшенными по сравнению с базовым вариантом 3 сопротивлениями теплопередаче стен и покрытий. Интересно отметить, что утепление здания по санитарно-гигиеническим соображениям энергетически нецелесообразно никогда. Значения общего коэффициента теплопередаче возрастают с увеличением объема здания, доли его остекления и уменьшением уровня теплозащиты ограждающих конструкций здания.

Незакрашенные области на рисунке относятся к зданиям выше 40 этажей с размерами в плане более 115,6×20,2 м, которые не рассматривались.

Вывод. Теплоступления от солнечной радиации создают дополнительную нагрузку на системы охлаждения здания в переходный и теплый периоды года. В холодный период они снижают нагрузку на системы отопления. Однако при удельных технологических теплоступлениях в помещении в рабочее время 40 Вт/м² и выше часты случаи, когда даже в отопительный период солнечная радиация играет отрицательную роль, так как ее действие совпадает по времени с технологическими теплоступлениями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Б о д р о в В.И., С м ы к о в А.А. Теплофизические характеристики теплового контура зданий с газовыми инфракрасными излучателями // Сантехника, отопление, кондиционирование, энергосбережение. 2014. № 7. С. 52–55.
2. В е с е л о в А.В., К о р н и е н к о В.Д. Новые направления в проектировании и строительстве энергоэффективных малоэтажных жилых домов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2016. № 7-8. С. 41–44.
3. Б е р е з и н Д.В. Оценка тепловой эффективности вариантов архитектурно-средового решения заглубленного жилого здания // Академ. вестн. УралНИИпроект РААСН. 2016. № 3. С. 84–88.
4. А н а н ь е в А.И. Долговечность, влажностный режим и теплозащитные свойства наружных стен зданий из пустотелого кирпича // АВОК. 2018. № 3. С. 70–73.
5. Л о б о в О.И., А н а н ь е в А.И., Р ы м а р о в А.Г. Основные причины несоответствия фактического уровня теплозащиты наружных стен современных зданий нормативным требованиям // Пром. и гражд. стр-во. 2016. № 11. С. 56–60.
6. Ш у б и н И.Л. Строительная физика: современное состояние отрасли // АВОК. 2018. № 7. С. 4–10.
7. T i a n W., Y a n g S., Z u o J., L i Z.Y., L i u Y.L. Relationship between built form and energy performance of office buildings in a severe cold Chinese region // Building Simulation. 2017. No. 10. P. 11–24.

8. Liu L., Wu D., Li X., Hou S., Liu C., Jones P. Effect of geometric factors on the energy performance of high-rise office towers in Tianjin, China // *Building Simulation*. 2017. No. 10. P. 625–641.
9. Ndiaye D. The impact of building massing on net-zero achievability for office buildings // *Building Simulation*. 2018. No. 11. P. 435–438.
10. Kharbouch Y., Ouhsaine L., Mimet A., El Ganaoui M. Thermal performance investigation of a PCM-enhanced wall/roof in northern Morocco // *Building Simulation*. 2018. No. 11. P. 1083–1093.
11. Lamrhari E.-H.D., Benhamou B. Thermal behavior and energy saving analysis of a flat with different energy efficiency measures in six climates // *Building Simulation*. 2018. No. 11. P. 1123–1144.
12. Lucchino E.C., Goia F., Lobaccaro G., Chaudhary G. Modelling of double skin facades in whole-building energy simulation tools: A review of current practices and possibilities for future developments // *Building Simulation*. 2019. No. 12. P. 3–27.
13. Малявина Е.Г., Фролова А.А. Экономическое обоснование выбора теплозащиты офисных зданий // *Изв. вузов. Строительство*. 2018. № 9. С. 56–65.
14. Малявина Е.Г., Фролова А.А. Экономическое сравнение вариантов перехода на свободное охлаждение кондиционируемых помещений // *Изв. вузов. Строительство*. 2013. № 4. С. 78–83.
15. Малявина Е.Г., Фролова А.А. Анализ годового энергопотребления на отопление и охлаждение офисного здания // *АВОК*. 2017. № 1. С. 18–23.
16. Берковский Б.М., Ноготов Е.Ф. Разностные методы исследования задач теплообмена // *Наука и технологии*. Минск, 1976. 176 с.
17. Коркина Е.В., Горбаренко Е.В., Гагарин В.Г., Шмаров И.А. Основные соотношения для расчета облучения солнечной радиацией стен отдельно стоящих зданий // *Жилищ. стр-во*. 2017. № 6. С. 27–33.

Малявина Елена Георгиевна, канд. техн. наук, проф.; E-mail: emal@list.ru
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Фролова Анастасия Анатольевна, канд. техн. наук, доц.;
E-mail: FrolovaAA@mgsu.ru

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Получено 05.07.2019

Malyavina Elena Georgievna, PhD, Professor; E-mail: emal@list.ru
National Research Moscow State University of Civil Engineering, Russia
Frolova Anastasiya Anatol'evna, PhD, Ass. Professor;
E-mail: FrolovaAA@mgsu.ru
National Research Moscow State University of Civil Engineering, Russia

THE INFLUENCE OF THE SOLAR RADIATION HEAT INPUT INTO THE ROOM ON THE LEVEL OF ENERGY-EFFICIENT THERMAL PROTECTION OF THE BUILDING

The task of increasing the energy efficiency of external enclosing structures is often considered as the need to increase their heat transfer resistance. At the same time, the main indicator of this efficiency is the heat consumption reduction for heating of the buildings having high thermal protection. In today's world, more and more buildings, which have been built, house the civil technologies with high heat emissions, i.e. administrative and

office, entertainment, training, shopping and other buildings. These buildings require high energy consumption for cooling, which is often necessary even during the heating period. Taking into account the heat input from the solar radiation with variable intensity throughout the year, the thermal protection level is subject to significant corrections. This is due to the fact that often the cooling of the room is required during the periods when the outdoor temperature is below the maximum allowable room temperature. During these periods, the enhanced thermal protection is an obstacle to the natural heat outflow from the premises. The calculations showed that the higher is the solar radiation heat input, the smaller is the part of energetically feasible buildings according to the basic norms prescribed by the SP 50.13330.2012.

Key words: variants of thermal protection, the façade glazing portion, the heating of the building, the cooling of the building, heat emissions in the room.

REFERENCES

1. Bodrov V.I., Smykov A.A. Teplofizicheskie kharakteristiki teplovogo kontura zdaniy s gazovymi infrakrasnymi izluchatelyami [Thermophysical characteristics of the thermal circuit of buildings with gas infrared emitters]. *Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie, energosberezhenie* [Sanitary Engineering, Heating, Air Conditioning]. 2014. No. 7. Pp. 52–55. (in Russian)
2. Veselov A.V., Kornienko V.D. Novye napravleniya v proektirovanii i stroitel'stve energoeffektivnykh maloetazhnykh zhilykh domov [New direction in the design and construction of energy efficient low-rise residential buildings]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka* [Building materials, equipment, technologies of the 21st century]. 2016. No. 7-8. Pp. 41–44. (in Russian)
3. Berezin D.V. Otsenka teplovoy effektivnosti variantov arkhitekturno-sredovogo resheniya zaglublennogo zhilogo zdaniya [Thermal efficiency assessment of architectural and environmental variants of an earth-sheltered house]. *Akademicheskii vestnik UralNIIproekt RAASN* [Institution Russian Academy of Architecture and building Sciences the “Badge of Honour” Ural Scientific Research and Desing Institute]. 2016. No. 3. Pp. 84–88. (in Russian)
4. Anan'ev A.I. Dolgovechnost', vlazhnostnyy rezhim i teplozashchitnye svoystva naruzhnykh sten zdaniy iz pustotologo kirpicha [Durability, Humidity Conditions and Thermal Protection Properties of External Walls of Buildings Made of Hollow Brick]. *ABOK* [ABOK]. 2018. No. 3. Pp. 70–73. (in Russian)
5. Lobov O.I., Anan'ev A.I., Rymarov A.G. Osnovnye prichiny nesootvetstviya fakticheskogo urovnya teplozashchity naruzhnykh sten sovremennykh zdaniy normativnym trebovaniyam [Main Reasons for Non-Compliance of Factual Level of Heat Protection of External Walls of Modern Buildings with Regulatory Requirements]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil engineering]. 2016. No. 11. Pp. 56–60. (in Russian)
6. Shubin I.L. Stroitel'naya fizika: sovremennoe sostoyanie otrasli [Building Physics: Current Condition of the Industry]. *ABOK* [ABOK]. 2018. No. 7. Pp. 4–10. (in Russian)
7. Tian W., Yang S., Zuo J., Li Z.Y., Liu Y.L. Relationship between built form and energy performance of office buildings in a severe cold Chinese region. *Building Simulation*. 2017. No. 10. Pp. 11–24.
8. Liu L., Wu D., Li X., Hou S., Liu C., Jones P. Effect of geometric factors on the energy performance of high-rise office towers in Tianjin, China. *Building Simulation*. 2017. No. 10. Pp. 625–641.
9. Ndiaye D. The impact of building massing on net-zero achievability for office buildings. *Building Simulation*. 2018. No. 11. Pp. 435–438.

10. Kharbouch Y., Ouhsaine L., Mimet A., El Ganaoui M. Thermal performance investigation of a PCM-enhanced wall/roof in northern Morocco. *Building Simulation*. 2018. No. 11. Pp. 1083–1093.
11. Lamrhari E.-H.D., Benhamou B. Thermal behavior and energy saving analysis of a flat with different energy efficiency measures in six climates. *Building Simulation*. 2018. No. 11. Pp. 1123–1144.
12. Lucchino E.C., Goia F., Lobaccaro G., Chaudhary G. Modelling of double skin facades in whole-building energy simulation tools: A review of current practices and possibilities for future developments. *Building Simulation*. 2019. No. 12. Pp. 3–27.
13. Malyavina E.G., Frolova A.A. Ekonomicheskoe obosnovanie vybora teplozashchity ofisnykh zdaniy [Economic justification of the choice of the thermal protection of office buildings]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2018. No. 9. Pp. 56–65. (in Russian)
14. Malyavina E.G., Frolova A.A. Ekonomicheskoe sravnenie variantov perekhoda na svobodnoe okhlazhdenie konditsioniruemykh pomeshcheniy [Economic comparison of options transition to free cooling of conditioned rooms]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2013. No. 4. Pp. 78–83. (in Russian)
15. Malyavina E.G., Frolova A.A. Analiz godovogo energopotrebleniya na otoplenie i okhlazhdenie ofisnogo zdaniya [Analysis of the year power consumption for heating and cooling of an office building]. *ABOK* [ABOK]. 2017. No. 1. Pp. 18–23. (in Russian)
16. Berkovskiy B.M., Nogotov E.F. Raznostnye metody issledovaniya zadach teploobmena [Differential methods of research of heat exchange tasks]. *Nauka i tekhnologii* [Science and technology]. Minsk, 1976. 176 p. (in Russian)
17. Korkina E.V., Gorbarenko E.V., Gagarin V.G., Shmarov I.A. Osnovnye sootnosheniya dlya rascheta oblucheniya solnechnoy radiatsiey sten ot del'no stoyashchikh zdaniy [The main relations for calculating the exposure of solar radiation to the walls of detached buildings]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2017. No. 6. Pp. 27–33. (in Russian)