

Оценка круглосуточного теплового режима жилого помещения в теплый период года в г. Москве

Елена Георгиевна Малевина, Максим Игоревич Урядов

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АНОТАЦИЯ

Введение. В современной проектной практике принято холодильные нагрузки на систему кондиционирования воздуха рассчитывать как сумму максимальных теплопоступлений в помещение от отдельных источников. Температура внутреннего воздуха в подобных расчетах принимается равной требуемой по гигиеническим нормам. При этом расчет выполняется с рассмотрением стационарной теплопередачи.

Материалы и методы. Расчету подвергался круглосуточный тепловой режим жилой комнаты в Москве, окно которой обращено на восток. Проведено сравнение результатов расчета при стационарном тепловом режиме и нестационарном. Поддержание температуры в помещении достигалось при ночной вентиляции наружным воздухом и дневном охлаждении воздухом от сплит-системы, а также системой охлаждения приточным воздухом. Температура охлажденного воздуха принималась 20 и 22 °C.

Результаты. Определены изменения в течение суток температуры внутреннего воздуха в помещении, ориентированном на восток. Выяснено, что при максимальной суточной температуре наружного воздуха 33 °C поддержание в помещении температуры внутреннего воздуха не выше 24 °C возможно только при круглосуточном охлаждении помещения приточным воздухом 22 °C и ниже. Возможен также вариант охлаждения помещения, начиная с 5 ч 45 мин утра приточным воздухом, охлажденным до 20 °C. При этом коэффициент пропускания солнечной теплоты окном должен быть не выше 0,5.

Выводы. Так как в последние годы наблюдаются более высокие температуры наружного воздуха, чем ранее, целесообразно повысить расчетную температуру наружного воздуха в теплый период года.

Ключевые слова: температура наружного воздуха, теплопоступления от солнечной радиации, расчет, температура воздуха помещения, ночное проветривание, охлаждение приточным воздухом в дневное время и круглосуточно

Для цитирования: Малевина Е.Г., Урядов М.И. Оценка круглосуточного теплового режима жилого помещения в теплый период года в г. Москве // Вестник МГСУ. 2025. Т. 20. Вып. 1. С. 108–118. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.1.108-118

Автор, ответственный за переписку: Елена Георгиевна Малевина, emal@list.ru.

Evaluation of the 24-hour thermal conditions of a dwelling room in the warm period of the year in Moscow

Elena G. Malyavina, Maksim I. Uryadov

*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU),
Moscow, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. In modern design practice, it is customary to calculate the cooling capacity of an air-conditioning system as the sum of the maximum heat inputs into the room from the individual sources. The indoor air temperature in such calculations is assumed to be equal to the required temperature according to the hygienic norms. In this case, the calculation itself is performed with consideration of stationary heat transfer.

Materials and methods. The 24-hour thermal conditions of a dwelling room in Moscow with a window facing east were calculated. The calculation results were compared for steady-state and non-steady-state thermal conditions. Temperature maintenance in the room was achieved by night ventilation with outside air and daytime cooling with air from the Split-system, as well as by the cooling system with supply air. The chilled air temperature was assumed to be 20 and 22 °C.

Results. The changes during the day in indoor air temperature in a room oriented to the east were determined. It was found out that at a maximum daily outdoor air temperature of 33 °C, maintaining indoor air temperature not higher than 24 °C is possible only if the room is cooled with supply air of 22 °C and below 24 hours a day. It is also possible to cool the room starting at 5:45 a.m.

Conclusions. Since in recent years there are higher outdoor air temperatures than before, it is advisable to increase the design outdoor air temperature during the warm period of the year.

KEYWORDS: outdoor air temperature, heat inputs from solar radiation, calculation, indoor air temperature, night ventilation, cooling with supply air in daytime and 24 hours a day

FOR CITATION: Malyavina E.G., Uryadov M.I. Evaluation of the 24-hour thermal conditions of a dwelling room in the warm period of the year in Moscow. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2025; 20(1):108–118. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.1.108-118 (rus.).

Corresponding author: Elena G. Malyavina, emal@list.ru.

ВВЕДЕНИЕ

В современной технической литературе разными авторами вопрос о потеплении климата рассматривается с различных сторон. Важными считаются причины потепления¹ [1] и необходимость изучения его последствий. Большее распространение получает кондиционирование воздуха с воздушным охлаждением в домохозяйствах, и, как ожидается, число установок продолжит расти из-за изменения климата и благодаря повышению уровня жизни². Через 20 лет оно составит 21 % в Испании и 35 % во Франции. Домохозяйства приспосабливаются к изменению климата путем использования кондиционеров, что приводит к увеличению расходов на электроэнергию на 35–42 %. Надо сказать, что со стороны специалистов по кондиционированию воздуха наблюдается большой интерес к проблеме сокращения нагрузки на эти системы. Так, в трудах [2, 3] исследуются нагрузки применительно к различным типам зданий. Актуален [4] также вопрос о перераспределении в течение года энергопотребления системами поддержания теплового микроклимата в помещении. Однако не учитывается [4] более высокая стоимость холода по сравнению со стоимостью теплоты. Поэтому приведет ли потепление климата к финансовому выигрышу — вопрос открытый. Рассматривается метод расчета нагрузки³ [5]. Отмечается необходимость учета нестационарного теплового режима помещений, в процессе которого формируется холодильная нагрузка [5, 6]. Изучается влияние вентиляционного режима эксплуатации здания на холодильную нагрузку в [7]. Делается акцент на выбор исходной климатической информации для определения установленной мощности и особенно суммарного годового потребления холода системами кондиционирования воздуха при обработке притока [8–10]. В статье [11] выдвигается на первый план влияние тепловлажностного режима, зависящего от наружных климатических условий, в теплом чердаке на состояние ограж-

дающих конструкций, подчеркивается значимость влияния климатических особенностей района строительства на уровень энергоэффективной тепловой защиты административных зданий [12]. Обращается внимание на различные конструкции кондиционеров и выбор наиболее подходящего для определенных условий [13]. Экономическая сторона вопроса для кондиционируемых помещений рассмотрена в работе [14]. Интересным также кажется использование солнечной радиации для охлаждения помещения, предлагаемое в публикации [15].

В проектной практике принято холодильные нагрузки на систему кондиционирования воздуха рассчитывать как сумму максимальных теплопоступлений в помещение от отдельных источников. Температура внутреннего воздуха в подобных расчетах принимается равной требуемой по гигиеническим нормам. При этом расчет выполняется с рассмотрением стационарной теплопередачи.

Таким образом, расчет теплопередачи через наружные ограждающие конструкции осуществляется по максимальной условной температуре наружной поверхности ограждающих конструкций.

В расчете с постоянной температурой наружного воздуха невозможно также учесть предварительный перегрев помещения, который имеет место перед началом рабочего дня, если помещение функционирует не круглогодично. Кроме того, принимая некую постоянную максимальную температуру наружного воздуха, проектировщик не учитывает возможного понижения этой температуры в ночное время. В результате расчет требует приточный воздух нагревать, чего в теплый период года делать никто не будет.

В статье в качестве более точного метода расчета для оценки точности в определении холодильной нагрузки на кондиционеры стационарным методом применялся расчет нестационарного теплового режима помещения, разработанный ранее [16]. При этом теплопередача через каждую наружную и внутреннюю ограждающую конструкцию рассчитывалась методом конечных разностей по неявной схеме с шагом по времени 15 мин, а по координате 1 см. Температуры на внутренней поверхности каждого ограждения и воздуха находились из решения системы уравнений тепловых балансов поверхностей, обращенных в помещение, и воздуха.

Цель настоящего исследования — сравнение результатов расчета при рассмотрении стационарного теплового режима помещения и нестационарного для оценки точности стационарного метода; нахождение режима поддержания заданной температуры воздуха помещения в комнате.

¹ Изменение климата (информационный бюллетень Росгидромета). Декабрь 2020–январь 2021. № 88. 33 с. URL: https://www.meteorf.gov.ru/upload/iblock/d2b/Izmenenie_klimata_N88_DecJan_2020.pdf

² Глобальное потепление и его влияние на продажи кондиционеров // Мир климата/холода. 2020. URL: <https://mir-klimata.info/globalnoe-poteplenie-i-ego-vliyanie-na-prodazhi-kondicionerov>

³ Как снизить нагрузку на систему кондиционирования воздуха // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2023. № 7. С. 40–47. EDN FJBLDI.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Рассмотрено жилое помещение с круглосуточной эксплуатацией, т.е. комната в квартире многоквартирного дома в Москве в июле. Размеры помещения — $3,62 \times 4,2 \times 2,9(h)$ м. Окно, ориентированное на восток, имело сопротивление теплопередаче $0,66 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ и размеры $2,0 \times 2,06$ м. Коэффициент, учитывающий затенение светового проема переплетами, равен 0,8. На окне учитывалась белая штора с коэффициентом пропускания солнечной радиации 0,4. Сопротивление теплопередаче наружной стены соответствовало базовому требуемому сопротивлению теплопередаче для жилья в Москве — $2,57 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

На первом этапе помещение было рассчитано в 14 вариантах при круглосуточном охлаждении приточным подготовленным воздухом от вентиляционной установки. Проанализированы две конструкции окон: с прозрачной частью окна, имеющая коэффициент пропускания 0,74 и 0,5. Рассматривалась постоянная температура наружного воздуха в течение суток (как в ручном счете), при этом она приравнивалась к 33 и 26 °C. Температура приточного воздуха принималась равной 20 и 22 °C, при этом принимался двукратный или шестикратный воздухообмен помещения, постоянный в течение суток.

Выполнены расчеты при температуре наружного воздуха, изменяющейся в течение суток по гармо-

ническому закону с максимальными значениями 33 и 26 °C. Температуры притока приточного воздуха приняты теми же, что и при постоянной температуре наружного воздуха. В варианте с изменяющейся температурой наружного воздуха в расчет принимались только двукратные расходы приточного воздуха.

Также рассчитаны варианты охлаждения помещения в дневное время с помощью охлажденного воздуха от сплит-системы. Расход рециркуляционного притока был ограничен максимальной холодоизделийностью сплит-системы 2,29 кВт с внутренним блоком MDSAG-07HRN1, с номинальной холодоизделийностью 2,29 кВт и расходом рециркуляционного охлажденного воздуха (мин.–макс.) 350–530 м³/ч. Промежуточный расход равен 450 м³/ч.

При этом искомая температура помещения проверялась при поддержании постоянной температуры притока на тех же уровнях, что и при постоянном расходе приточного воздуха. Холодоизделийность аппарата на каждом временном шаге расчета определялась по потребности в охлаждении помещения. Расход охлажденного воздуха назначался, начиная с наименьшего 350 м³/ч.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При круглосуточной работе охлаждения и учете переменной температуры наружного воздуха максимальные температуры воздуха помещения и ре-

Табл. 1. Значения средней за сутки температуры внутреннего воздуха и результирующей температуры помещения при круглосуточном охлаждении помещения

Table 1. Values of daily average indoor air temperature and resulting room temperature for 24-hour cooling of the room

Площадь окна, м ² Window area, m ²	Ориентация по сторонам света Orientation to the sides of the world	Расход приточного воздуха, м ³ /ч Supply air flow rate, m ³ /h	Средняя за сутки температура, °C Average daily temperature, °C				Амплитуда температуры наружного воздуха Amplitude of outdoor air temperature	
			наружного воздуха outside air	притока Inflow	внутреннего воздуха indoor air	результирующей resulting		
<i>Помещение 3 Room 3</i>								
4,12	Восток, 0,74 East, 0,74	88,18	33	22	29,36	30,11	0	
		88,18	33	20	27,72	28,50	0	
		264,54	33	22	24,83	25,66	0	
		264,54	33	20	22,97	23,83	0	
		88,18	26	22	27,96	28,60	0	
		88,18	26	20	26,33	27,00	0	
		264,54	26	22	24,30	25,01	0	
		264,54	26	20	22,44	23,18	0	
		88,18	27,95	22	28,34	29,01	5,05	
		88,18	27,95	20	26,70	27,40	5,05	
		88,18	20,95	22	26,96	27,51	5,05	
		88,18	20,95	20	25,33	25,91	5,05	
4,12	Восток, 0,5 East, 0,5	88,18	20,95	22	25,38	25,79	5,05	
		88,18	20,95	20	23,75	24,20	5,05	

зультирующей температуры на 1–2 °C ниже температуры при постоянной температуре. Естественно, что при увеличении расхода приточного охлажден-

го воздуха в три раза $t_{\text{в}}$ и $t_{\text{рез}}$ снижаются на 5–6 °C. Хороший эффект охлаждения на 2–3 °C дает также замена стеклопакета в окне на энергоэффективный,

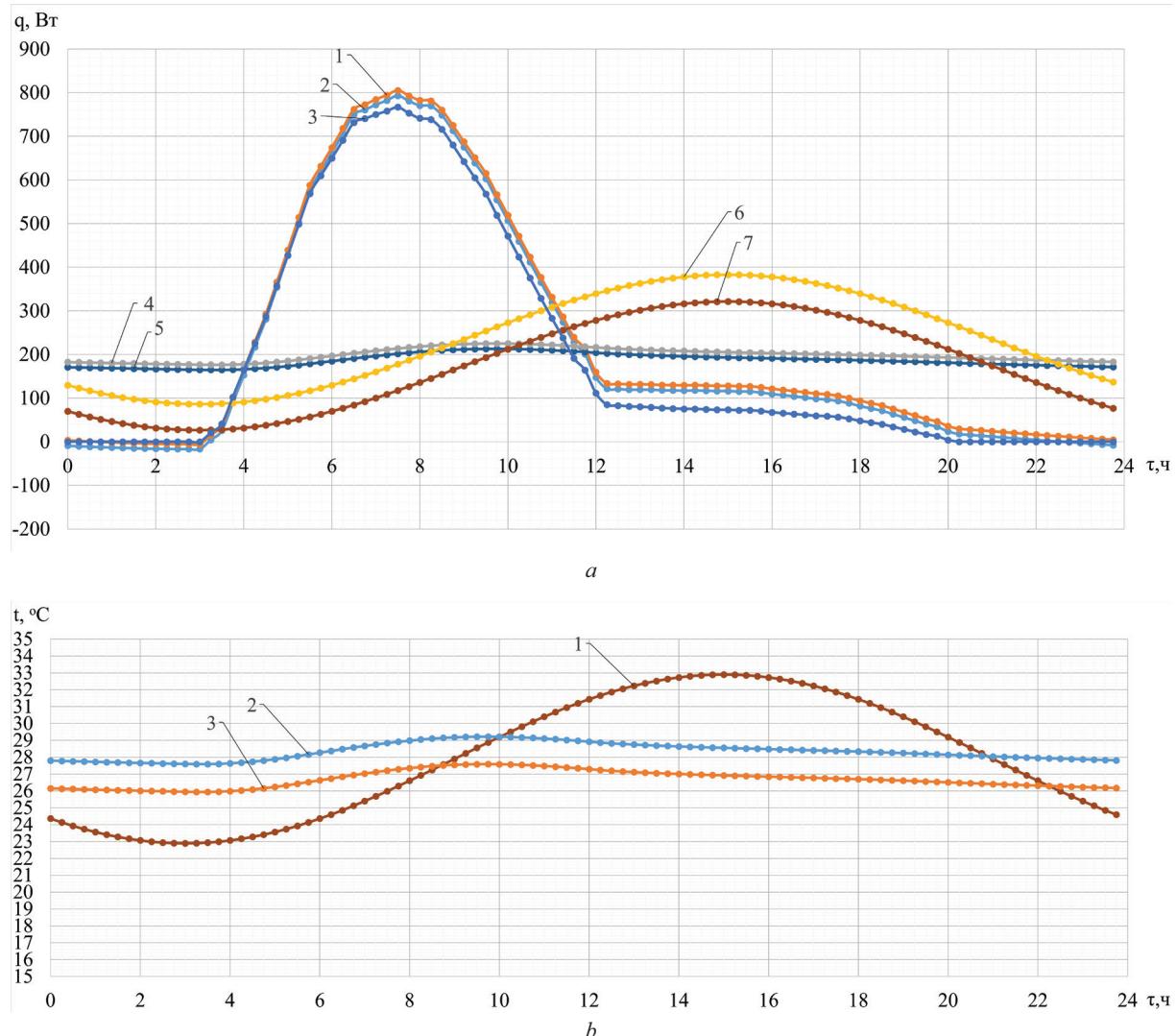


Рис. 1. Суточный ход потоков теплопоступлений и охлаждения при переменной температуре наружного воздуха с максимумом +33 °C, двукратном воздухообмене и коэффициентом пропускания светопрозрачной частью окна 0,74: 1 — суммарные теплопоступления, Вт (при $t_{\text{прит}} = +20^{\circ}\text{C}$); 2 — суммарные теплопоступления, Вт (при $t_{\text{прит}} = +22^{\circ}\text{C}$); 3 — теплопоступления от солнечной радиации через прозрачную часть окна, Вт; 4 — тепловой поток, удаляемый вентиляционным воздухом из помещения, Вт (при $t_{\text{прит}} = +20^{\circ}\text{C}$); 5 — тепловой поток, удаляемый вентиляционным воздухом из помещения, Вт (при $t_{\text{прит}} = +22^{\circ}\text{C}$); 6 — тепловой поток, требующийся на охлаждение приточного воздуха, Вт (при $t_{\text{прит}} = +20^{\circ}\text{C}$); 7 — тепловой поток, требующийся на охлаждение приточного воздуха, Вт (при $t_{\text{прит}} = +22^{\circ}\text{C}$) (а); суточный ход температуры внутреннего воздуха при переменной температуре наружного воздуха с максимумом +33 °C, двукратном воздухообмене и коэффициентом пропускания светопрозрачной частью окна 0,74: 1 — суточный ход температуры наружного воздуха, °C; 2 — суточный ход температуры внутреннего воздуха, °C (при $t_{\text{прит}} = +22^{\circ}\text{C}$); 3 — суточный ход температуры внутреннего воздуха, °C (при $t_{\text{прит}} = +20^{\circ}\text{C}$) (б)

Fig. 1. Daily course of heat input and cooling fluxes at variable outdoor air temperature with a maximum of +33 °C, twofold air exchange and a transmittance coefficient of the translucent part of the window of 0.74: 1 — total heat input, W (at $t_{\text{inflow}} = +20^{\circ}\text{C}$); 2 — total heat input, W (at $t_{\text{inflow}} = +20^{\circ}\text{C}$); 3 — heat inputs from solar radiation through the transparent part of the window; 4 — heat input removed by ventilation air from the room (at $t_{\text{inflow}} = +20^{\circ}\text{C}$); 5 — heat input removed by ventilation air from the room (at $t_{\text{inflow}} = +22^{\circ}\text{C}$); 6 — heat input required to cool the supply air (at $t_{\text{inflow}} = +20^{\circ}\text{C}$); 7 — heat input required to cool the supply air (at $t_{\text{inflow}} = +22^{\circ}\text{C}$) (a); daily course of indoor air temperature at variable outdoor air temperature with a maximum of +33 °C and twofold air exchange and a transmittance coefficient of the translucent part of the window of 0.74: 1 — daily course of outdoor air temperature, °C; 2 — daily course of indoor air temperature, °C (at $t_{\text{inflow}} = +22^{\circ}\text{C}$); 3 — daily course of indoor air temperature, °C (at $t_{\text{inflow}} = +20^{\circ}\text{C}$) (b)

хотя надо учитывать понижение освещенности помещения при этом. Результаты расчета приведены в табл. 1. Обращаем внимание на амплитуду темпера-

туры наружного воздуха: ее равенство нулю означает постоянную температуру наружного воздуха в течение суток (как при стационарном расчете). Расчет

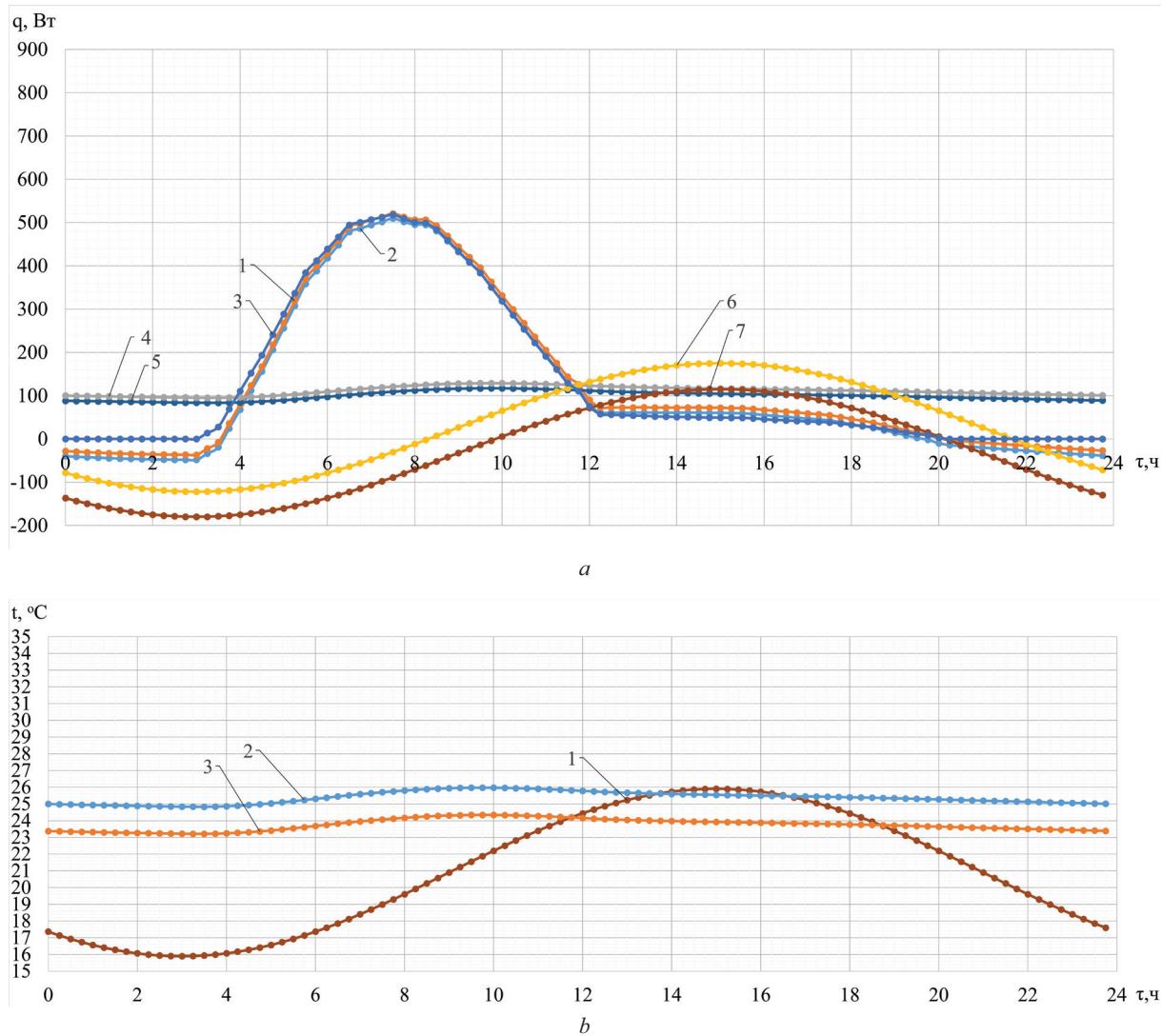


Рис. 2. Суточный ход потоков теплопоступлений и охлаждения при переменной температуре наружного воздуха с максимумом $+26^{\circ}\text{C}$, двухкратном воздухообмене и коэффициентом пропускания светопрозрачной частью окна 0,5: 1 — суммарные теплопоступления, Вт (при $t_{\text{прит}} = +20^{\circ}\text{C}$); 2 — суммарные теплопоступления, Вт (при $t_{\text{прит}} = +22^{\circ}\text{C}$); 3 — теплопоступления от солнечной радиации через прозрачную часть окна, Вт; 4 — тепловой поток, удаляемый вентиляционным воздухом из помещения, Вт (при $t_{\text{прит}} = +20^{\circ}\text{C}$); 5 — тепловой поток, удаляемый вентиляционным воздухом из помещения, Вт (при $t_{\text{прит}} = +22^{\circ}\text{C}$); 6 — тепловой поток, требующийся на охлаждение приточного воздуха, Вт (при $t_{\text{прит}} = +20^{\circ}\text{C}$); 7 — тепловой поток, требующийся на охлаждение приточного воздуха, Вт (при $t_{\text{прит}} = +22^{\circ}\text{C}$) (а); суточный ход температуры внутреннего воздуха при переменной температуре наружного воздуха с максимумом $+26^{\circ}\text{C}$, двухкратном воздухообмене и коэффициентом пропускания светопрозрачной частью окна 0,5: 1 — суточный ход температуры наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$; 2 — суточный ход температуры внутреннего воздуха, $^{\circ}\text{C}$ (при $t_{\text{прит}} = +22^{\circ}\text{C}$); 3 — суточный ход температуры внутреннего воздуха, $^{\circ}\text{C}$ (при $t_{\text{прит}} = +20^{\circ}\text{C}$) (б)

Fig. 2. Daily course of heat and cooling fluxes at variable outdoor air temperature with a maximum of $+26^{\circ}\text{C}$, twofold air exchange and a transmittance coefficient of the translucent part of the window of 0.5: 1 — total heat input, W (at $t_{\text{inflow}} = +20^{\circ}\text{C}$); 2 — total heat input, W (at $t_{\text{inflow}} = +20^{\circ}\text{C}$); 3 — heat inputs from solar radiation through the transparent part of the window; 4 — heat input removed by ventilation air from the room (at $t_{\text{inflow}} = +20^{\circ}\text{C}$); 5 — heat input removed by ventilation air from the room (at $t_{\text{inflow}} = +22^{\circ}\text{C}$); 6 — heat input required to cool the supply air (at $t_{\text{inflow}} = +20^{\circ}\text{C}$); 7 — heat input required to cool the supply air (at $t_{\text{inflow}} = +22^{\circ}\text{C}$) (a); daily course of indoor air temperature at variable outdoor air temperature with a maximum of $+26^{\circ}\text{C}$, twofold air exchange and a transmittance coefficient of the translucent part of the window of 0.5: 1 — daily course of outdoor air temperature, $^{\circ}\text{C}$; 2 — daily course of indoor air temperature, $^{\circ}\text{C}$ (at $t_{\text{inflow}} = +22^{\circ}\text{C}$); 3 — daily course of indoor air temperature, $^{\circ}\text{C}$ (at $t_{\text{inflow}} = +20^{\circ}\text{C}$) (b)

Табл. 2. Суммарные за сутки потоки теплопоступлений и охлаждения

Table 2. Total heat inputs and cooling fluxes per day

Температура, °C Temperature, °C					Тепловые потоки за сутки, Вт·ч Heat flows per day, W/h	
максимальная наружного воздуха maximum outdoor air	притока от сплит-системы of the inflow from the split system	максимальная воздуха помещения maximum room air	максимальная результатирующая помещения maximum resulting room	средняя за сутки воздуха помещения average daily room air	средняя за сутки результатирующая помещения average daily rate resulting room	охлаждения помещения room cooling
						теплопоступлений в помещение heat inputs into the room
26	20	23,6	24,25	22,33	22,96	5108
26	22	24,906	25,497	23,75	24,47	4998,7
33	20	26,491	26,510	23,47	24,20	5573,9
<i>Коэффициент пропускания солнечной радиации 0,74, охлаждение с 8:15 до 22 ч Solar radiation transmittance coefficient 0.74, cooling from 8:15 to 22 hours</i>						
26	20	21,78	22,262	21,39	21,96	3569,1
26	22	23,578	24,052	22,90	23,45	3457,1
33	20	25,638	25,546	23,19	23,74	3983,8
<i>Коэффициент пропускания солнечной радиации 0,5, охлаждение с 8:15 до 22 ч, расход 350 м³/ч Solar radiation transmittance coefficient 0.5, cooling from 8:15 to 22 hours, flow rate 350 m³/h</i>						
33	22	26,764	26,802	24,68	25,25	3751,5
<i>Коэффициент пропускания солнечной радиации окном 0,5, охлаждение с 8:15 до 22 ч, расход 450 м³/ч Solar radiation transmittance coefficient 0.5, cooling from 8:15 to 22 hours, flow rate 450 m³/h</i>						
33	22	26,487	26,493	24,31	24,87	3386,6
<i>Коэффициент пропускания солнечной радиации 0,5, охлаждение с 5:45 до 22 ч, расход 350 м³/ч Solar radiation transmittance coefficient 0.5, cooling from 5:45 to 22 hours, flow rate 350 m³/h</i>						
33	20	24,044	24,071	22,58	23,15	4044,1
<i>Коэффициент пропускания солнечной радиации окном 0,5, охлаждение с 5:45 до 22 ч, расход 450 м³/ч с 5:45 до 9:00 ч, расход 350 м³/ч с 9:15 до 22:00 Solar radiation transmittance coefficient 0.5, cooling from 5:45 to 22 hours, flow rate 450 m³/h from 5:45 to 9:00 hours 9:15 to 22:00 hours</i>						
33	22	26,077	26,390	24,84	25,60	5491,0
<i>Коэффициент пропускания солнечной радиации 0,74, охлаждение круглосуточно, расход 450 м³/ч с 0:00 до 9:00 ч, расход 350 м³/ч с 9:15 до 24:00 Solar radiation transmittance coefficient 0.74, cooling 24 hours a day, flow rate 450 m³/h from 0:00 to 9:00 hours, flow rate 350 m³/h from 9:15 to 24:00 hours</i>						
33	22	24,455	25,637	23,81	24,00	5525,4
<i>Коэффициент пропускания солнечной радиации окном 0,5, охлаждение круглосуточно, расход 350 м³/ч Solar radiation transmittance coefficient 0.5, cooling 24 hours a day, flow rate 350 m³/h</i>						
33	20	21,872	22,616	21,46	22,09	4106,2
33	22	23,823	24,552	23,41	24,02	3945,6
<i>33</i>						
<i>33</i>						

с применением постоянной температуры наружного воздуха дает завышенные практически на 4 °C температуры внутреннего воздуха и результатирующей температуры.

Рис. 1, a, 2, a объясняют, почему учет переменной температуры наружного воздуха с максимумом 33 °C приводит к большим теплопоступлениям в по-

мещение и более высокой температуре внутреннего воздуха, чем при максимуме 26 °C, а применение светопрозрачной части окна с коэффициентом пропускания солнечной теплоты 0,74 к тепловым потокам, большим, чем при окнах с теплопропусканием 0,5. Рис. 1, b и 2, b раскрывают, как указанные причины, а также применение более низкой температуры при-

тока влияет на формирование температуры внутреннего воздуха.

На втором этапе работы основной задачей являлось выявление подходящих для помещения, ориентированного на восток в Москве, режимов работы систем вентиляции наружным воздухом и охлажденным до 20 и до 22 °C воздухом сплит-системы. Так как расчеты выполнялись для жилой комнаты, то же-

лаемая температура должна была поддерживаться круглосуточно в диапазоне от 22 до 24 °C.

При максимальной суточной температуре наружного воздуха 26 °C в помещении с окном, имеющим коэффициент пропускания теплоты солнечной радиации 0,74, и включением сплит-системы в 8 ч 15 мин и ее работе непрерывно до 22 ч с минимальным расходом рециркуляционного воздуха 350 м³/ч

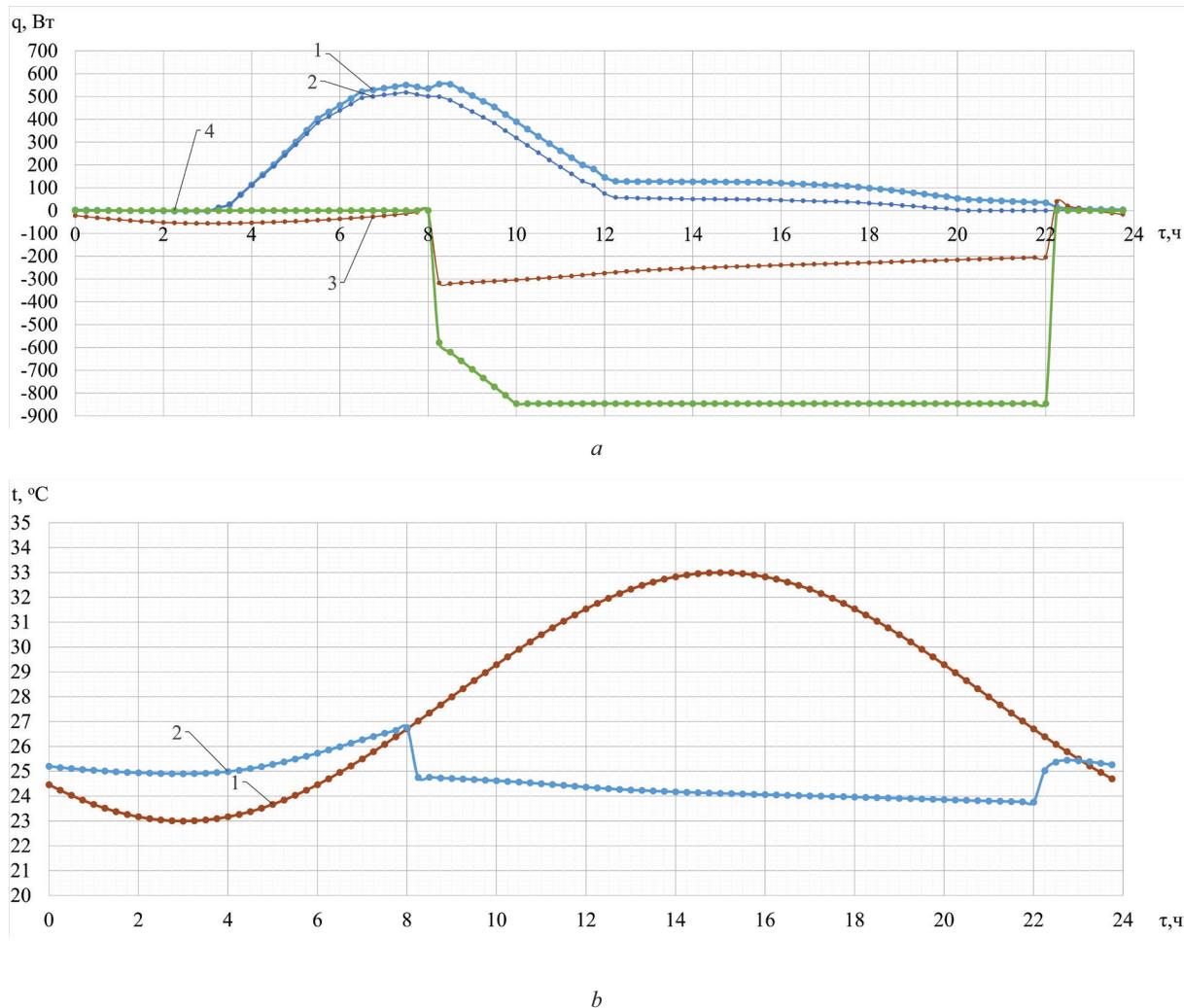


Рис. 3. Суточный ход потоков теплопоступлений и охлаждения при переменной температуре наружного воздуха с максимумом +33 °C, охлаждении с 8:15 до 22:00 и коэффициентом пропускания светопрозрачной частью окна 0,5: 1 — суммарные теплопоступления, Вт (при $t_{\text{прит}} = +22^{\circ}\text{C}$); 2 — теплопоступления от солнечной радиации через прозрачную часть окна, Вт; 3 — тепловой поток, удаляемый вентиляционным воздухом из помещения, Вт (при $t_{\text{прит}} = +22^{\circ}\text{C}$); 4 — тепловой поток, требующийся на охлаждение приточного воздуха, Вт (при $t_{\text{прит}} = +22^{\circ}\text{C}$) (а); суточный ход температуры внутреннего воздуха при переменной температуре наружного воздуха с максимумом +33 °C, двухкратном воздухообмене и коэффициентом пропускания светопрозрачной частью окна 0,5: 1 — суточный ход температуры наружного воздуха, °C; 2 — суточный ход температуры внутреннего воздуха, °C (при $t_{\text{прит}} = +22^{\circ}\text{C}$) (б)

Fig. 3. Daily course of heat input and cooling fluxes at variable outdoor air temperature with maximum +33 °C, cooling from 8:15 to 22:00 and transmittance coefficient of the translucent part of the window 0.5: 1 — total heat input, W (at $t_{\text{inflow}} = +22^{\circ}\text{C}$); 2 — heat inputs from solar radiation through the transparent part of the window; 3 — heat input removed by ventilation air from the room (at $t_{\text{inflow}} = +22^{\circ}\text{C}$); 4 — heat input required to cool the supply air (at $t_{\text{inflow}} = +22^{\circ}\text{C}$) (a); daily course of indoor air temperature at variable outdoor air temperature with a maximum of +33 °C and twofold air exchange and a transmittance coefficient of the translucent part of the window of 0.5: 1 — daily course of outdoor air temperature, °C; 2 — daily course of indoor air temperature, °C (at $t_{\text{inflow}} = +22^{\circ}\text{C}$) (b)

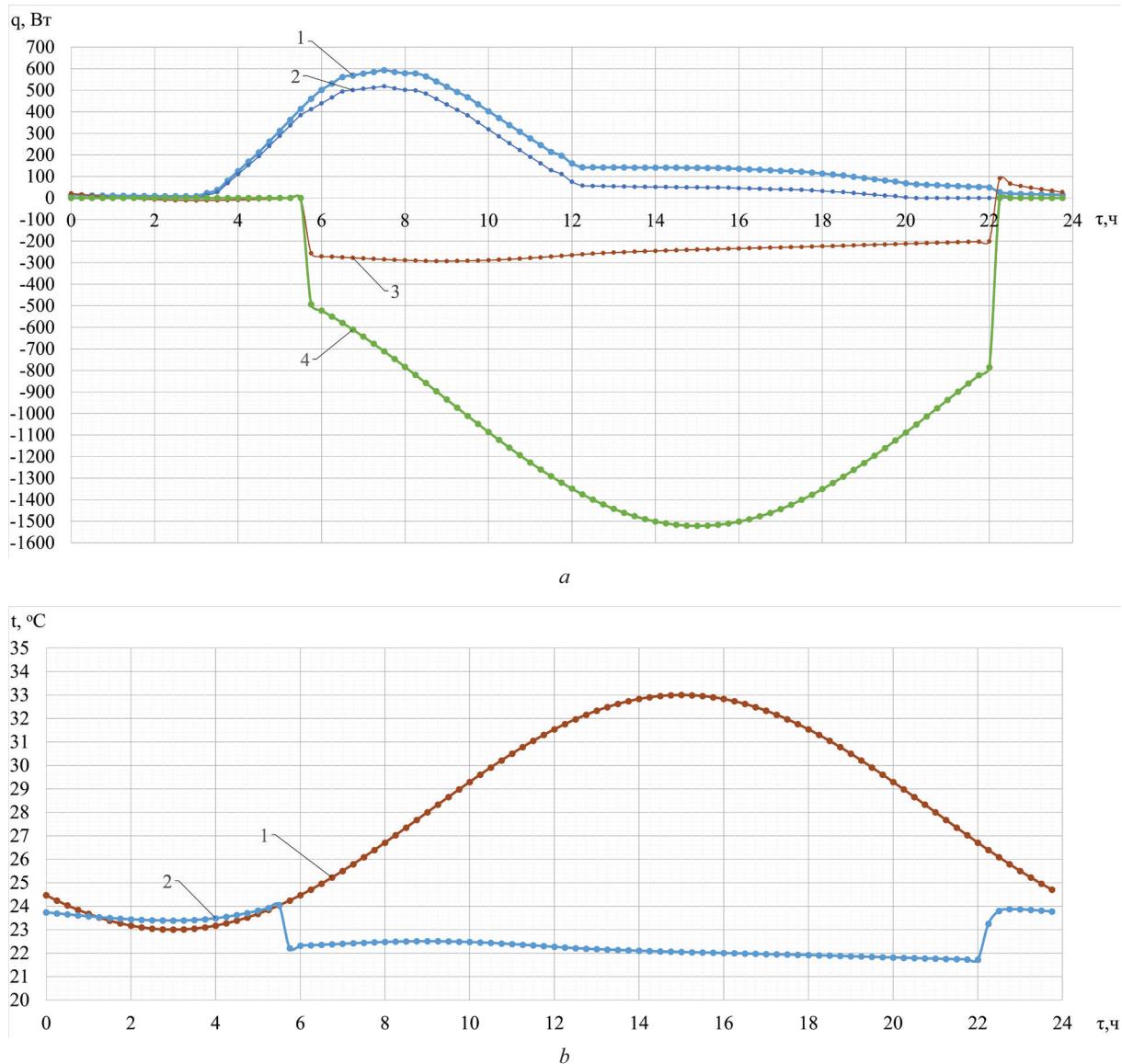


Рис. 4. Суточный ход потоков теплопоступлений и охлаждения при переменной температуре наружного воздуха с максимумом $+33^{\circ}\text{C}$, охлаждении с 5:45 до 22:00 и коэффициентом пропускания светопрозрачной частью окна 0,5: 1 — суммарные теплопоступления, Вт (при $t_{\text{прит}} = +20^{\circ}\text{C}$); 2 — теплопоступления от солнечной радиации через прозрачную часть окна; 3 — тепловой поток, удаляемый вентиляционным воздухом из помещения, Вт (при $t_{\text{прит}} = +20^{\circ}\text{C}$); 4 — тепловой поток, требующийся на охлаждение приточного воздуха, Вт (при $t_{\text{прит}} = +20^{\circ}\text{C}$) (а); суточный ход температуры внутреннего воздуха при переменной температуре наружного воздуха с максимумом $+33^{\circ}\text{C}$, двукратном воздухообмене и коэффициентом пропускания светопрозрачной частью окна 0,5: 1 — суточный ход температуры наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$; 2 — суточный ход температуры внутреннего воздуха, $^{\circ}\text{C}$ (при $t_{\text{прит}} = +20^{\circ}\text{C}$) (б)

Fig. 4. Daily course of heat input and cooling fluxes at variable outdoor air temperature with maximum $+33^{\circ}\text{C}$, cooling from 5:45 to 22:00 and transmittance coefficient of the translucent part of the window 0.5: 1 — total heat input, W (at $t_{\text{inflow}} = +20^{\circ}\text{C}$); 2 — heat inputs from solar radiation through the transparent part of the window; 3 — heat input removed by ventilation air from the room (at $t_{\text{inflow}} = +20^{\circ}\text{C}$); 4 — heat input required to cool the supply air (at $t_{\text{inflow}} = +20^{\circ}\text{C}$) (a); daily course of indoor air temperature at variable outdoor air temperature with a maximum of $+33^{\circ}\text{C}$ and twofold air exchange and a transmittance coefficient of the translucent part of the window of 0.5: 1 — daily course of outdoor air temperature, $^{\circ}\text{C}$; 2 — daily course of indoor air temperature, $^{\circ}\text{C}$ (at $t_{\text{inflow}} = +20^{\circ}\text{C}$) (b)

достигается максимальная температура внутреннего воздуха $23,6^{\circ}\text{C}$. В остальное время суток помещение проветривалось двукратным расходом вентиляционного наружного воздуха. При подаче охлажденного воздуха до 22°C и максимальной температуре наруж-

ного воздуха 33°C нужной температуры внутреннего воздуха достичь не удается. Если помещение оборудовано окном с коэффициентом пропускания солнечной теплоты 0,5, то нужного результата можно достичь даже при температуре притока 22°C , если

включать охлаждение в 5 ч 45 мин при минимальном расходе охлажденного рециркуляционного воздуха. При температуре наружного воздуха 33 °С добиться температуры внутреннего воздуха не выше 24 °С не удается даже при среднем расходе охлажденного воздуха 450 м³/ч. И только при круглосуточном охлаждении помещения можно добиться нужной температуры помещения. Суточные суммы поступающих в помещение потоков теплоты и потребность в охлаждающих потоках представлены в табл. 2.

Рис. 3, a, 4, a поясняют, почему в помещении, ориентированном на восток, более раннееключение охлаждения с более низкой температурой притока приводит к более низким тепловым нагрузкам на систему охлаждения. Рис. 3, b и 4, b раскрывают влияние разной температуры притока при одинаковой температуре наружного воздуха и одинаковом теплопропускании солнечной теплоты прозрачной частью окна.

Авторы поддерживают предложение [17] о необходимости пересмотра СП 131.13330.2022 в сторону увеличения расчетных температур в теплый период года из-за потепления климата. С этой необходимостью согласен В.К. Савин [18], признающий, что современные климатические нормы полностью еще не обновлены. Кроме того, они не учитывают

глобальное потепление и имеют недостаточный набор климатических характеристик.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Если проветривать помещение наружным воздухом до 8 ч утра и после 22 ч вечера, а в остальное время охлаждать его двукратным расходом кондиционного воздуха, расчетные температуры воздуха и результирующей температуры помещения на 1–2 °С ниже наружной температуры. Хороший эффект охлаждения на 2–3 °С дает также замена стеклопакета в окне на энергоэффективный, хотя в расчетах не учитывалось понижение освещенности помещения при этом.

При ориентации помещения на восток и максимальной температуре наружного воздуха 33 °С добиться поддержания температуры внутреннего воздуха не выше 24 °С можно только при начале охлаждения помещения не позже 5:45 ч утра или при круглосуточном охлаждении помещения. Причем эта принятая температура наружного воздуха в Москве значительно выше расчетной 26 °С.

Целесообразно расчетные температуры наружного воздуха для теплого периода года повысить в связи с потеплением климата.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Мохов И.И.* Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования // Вестник Российской академии наук. 2022. Т. 92. № 1. С. 3–14. DOI: 10.31857/S0869587322010066. EDN NTZPAK.
2. *Боломатов В.Н.* Энергоэффективные решения при проектировании отопления, вентиляции и кондиционирования промышленных зданий // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2023. № 8. С. 48–55. EDN FAMCVN.
3. *Разаков М.А.* Перспективы применения системы кондиционирования воздуха в машинном зале канализационной насосной станции // Холодильная техника. 2023. Т. 112. № 2. С. 87–97. DOI: 10.17816/RF622931. EDN AYFGSN.
4. *Самарин О.Д., Лушин К.И.* Оценка влияния изменения климата на энергопотребление систем обеспечения микроклимата зданий // Жилищное строительство. 2020. № 1–2. С. 21–24. DOI: 10.31659/0044-4472-2020-1-2-21-24. EDN DDSDEO.
5. *Фролова А.А.* Графический метод определения энергетических затрат системами климатизации при различном уровне теплозащиты офисного здания // Энергосбережение и водоподготовка. 2023. № 6 (146). С. 56–58. EDN FWDWEE.
6. *Костин В.И., Должиков В.Н.* Влияние суточного режима работы общественных зданий на расход
- холода системами кондиционирования воздуха // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2021. № 4 (748). С. 65–71. DOI: 10.32683/0536-1052-2021-748-4-65-71. EDN BXAAQM.
7. *Дацюк Т.А., Уляшева В.М., Пухкал В.А., Верховский А.А.* Влияние удельной вентиляционной характеристики офисных зданий на энергопотребление // Вестник гражданских инженеров. 2024. № 1 (102). С. 73–83. DOI: 10.23968/1999-5571-2024-21-1-73-83. EDN KKUPRF.
8. *Самарин О.Д.* Сравнение расчетов энергопотребления установками кондиционирования воздуха // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2024. № 3 (267). С. 61–63. EDN NCSXZL.
9. *Kumar G., De S., Thakur B.* Wall and air conditioner combination for the best energy and economic performance: Methodology demonstration for high-rise residential buildings // Energy Conversion and Management. 2024. Vol. 300. P. 117909. DOI: 10.1016/j.enconman.2023.117909
10. *Малевина Е.Г., Урядов М.И.* Способы задания исходных климатических данных для моделирования нестационарного теплового режима помещения. Мировой опыт // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2023. № 4 (772). С. 35–45. DOI: 10.32683/0536-1052-2023-772-4-35-45. EDN ITJVVU.
11. *Дацюк Т.А., Аникурова Е.А.* Влияние теплоподложностного режима теплых чердаков на состояние

ограждающих конструкций // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 5 (76). С. 160–165. DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-5-160-165. EDN ZNNSFW.

12. Marwan M., Marwan M.D. Designing a pre-cooling model for air conditioning to avoid an electricity price spike for different building characteristics // Journal of King Saud University — Engineering Sciences. 2023. Vol. 35. Issue 7. Pp. 485–494. DOI: 10.1016/j.jksues.2021.07.004

13. Королева А.Н. Современные подходы к кондиционированию жилых зданий // Молодой ученый. 2019. № 9 (247). С. 99–101. EDN YYTBZFZ.

14. Tanadecha P., Khaothong K. Thermoeconomic analysis of duct works for air-conditioned building in Thailand // Energy and Built Environment. 2023. Vol. 6. Issue 1. Pp. 80–95. DOI: 10.1016/j.enbenv.2023.09.002

15. Noferesti S., Ahmadzadehatalatapeh M., Gholam Motlagh V. The application of solar integrated absorption cooling system to improve the air quality and reduce

the energy consumption of the air conditioning systems in buildings — A full year model simulation // Energy and Buildings. 2022. Vol. 274. P. 112420. DOI: 10.1016/j.enbuild.2022.112420

16. Маявина Е.Г., Ломакин А.Г. Учет теплоустойчивости помещения при расчете нагрузки на охлаждение помещения // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2020. № 2 (218). С. 80–84. EDN QBVVDT.

17. Ефремов С.Н., Тимофеев В.А., Гончар А.Б. Анализ использования системы кондиционирования воздуха с учетом десятилетнего изменения климата в городе Севастополь // Евразийский союз ученых. 2021. № 3–7 (84). С. 34–38. DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2021.7.84.1306. EDN ZUGKYF.

18. Савин В.К. Влияние глобального потепления на энергетическую эффективность здания // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2020. № 6. С. 52–59. EDN VLNPVJ.

Поступила в редакцию 16 сентября 2024 г.

Принята в доработанном виде 29 сентября 2024 г.

Одобрена для публикации 20 октября 2024 г.

О Б А В Т О Р АХ: Елена Георгиевна Маявина — кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ORCID: 000-0002-5832-8530; email@list.ru;

Максим Игоревич Урядов — аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; uryadovmaxim@yandex.ru.

Вклад авторов:

Маявина Е.Г. — концепция исследования, научное редактирование текста, написание итогового текста, итоговые выводы и заключение.

Урядов М.И. — идея, сбор и обработка материала, расчет и обработка результатов, составление графиков зависимостей, литературный обзор.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Mokhov I.I. Climate change: causes, risks, consequences, and problems of adaptation and regulation. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2022; 92(1):3-14. DOI: 10.31857/S0869587322010066. EDN NTZPAK. (rus.).
2. Bolomatov V.N. Energy-Efficient Solutions for the Design of Heating, Ventilation and Air Conditioning of Industrial Buildings. *AVOK*. 2023; 8:48-55. EDN FAMCVN. (rus.).
3. Razakov M.A. Application prospects of a central air conditioning system in an engine room at a waste water pumping station. *Kholodilnaya Tekhnika*. 2023; 112(2):87-97. DOI: 10.17816/RF622931. EDN AYFGSN. (rus.).
4. Samarin O.D., Lushin K.I. Assessment of the impact of climate change on the energy efficiency of climate control systems of buildings. *Housing Construction*. 2020; 1-2:21-24. DOI: 10.31659/0044-4472-2020-1-2-21-24. EDN DDSDEO. (rus.).
5. Frolova A.A. Graphical method for determining energy consumes by climating systems at different level of thermal protection of an office building. *Energy Saving and Water Treatment*. 2023; 6(146):56-58. EDN FWDWEE. (rus.).
6. Kostin V.I., Dolzhikov V.N. Influence of the daily operating mode of public buildings on the consumption of cold by air conditioning systems. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2021; 4(748):65-71. DOI: 10.32683/0536-1052-2021-748-4-65-71. EDN BXAAQM. (rus.).
7. Datsuk T.A., Ulyasheva V.M., Pukhkal V.A., Verhovskiy A.A. Influence of specific ventilation characteristics of office buildings on energy consumption. *Bulletin*

- of Civil Engineers. 2024; 1(102):73-83. DOI: 10.23968/1999-5571-2024-21-1-73-83. EDN KKUPHF. (rus.).
8. Samarin O.D. *Comparison of calculations of energy consumption by air conditioning units. S.O.K. — Plumbing, Heating, Air-Conditioning.* 2024; 3(267):61-63. EDN NCSXZL. (rus.).
9. Kumar G., De S., Thakur B. Wall and air conditioner combination for the best energy and economic performance: Methodology demonstration for high-rise residential buildings. *Energy Conversion and Management.* 2024; 300:117909. DOI: 10.1016/j.enconman.2023.117909
10. Malyavina E.G., Uryadov M.I. Methods of setting the initial climatic data for modeling the non-stationary thermal regime of the room. World experience. *News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2023; 4(772):35-45. DOI: 10.32683/0536-1052-2023-772-4-35-45. EDN ITJVUU. (rus.).
11. Datciuk T.A., Anshukova E.A. Impact of the heat-humidity regime of warm attics on the condition of enclosing structures. *Bulletin of Civil Engineers.* 2019; 5(76):160-165. DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-5-160-165. EDN ZNNSFW. (rus.).
12. Marwan M., Marwan M.D. Designing a pre-cooling model for air conditioning to avoid an electricity price spike for different building characteristics. *Journal of King Saud University — Engineering Sciences.* 2023; 35(7):485-494. DOI: 10.1016/j.jksues.2021.07.004
13. Koroleva A.N. Modern approaches to air conditioning of residential and public buildings. *Young Scientist.* 2019; 9(247):99-101. EDN YYTBFZ. (rus.).
14. Tanadecha P., Khaothong K. *Thermoeconomic analysis of duct works for air-conditioned building in Thailand. Energy and Built Environment.* 2023; 6(1):80-95. DOI: 10.1016/j.enbenv.2023.09.002
15. Noferesti S., Ahmadzadehtalatapeh M., Gholami Motlagh V. *The application of solar integrated absorption cooling system to improve the air quality and reduce the energy consumption of the air conditioning systems in buildings — A full year model simulation. Energy and Buildings.* 2022; 274:112420. DOI: 10.1016/j.enbuild.2022.112420
16. Malyavina E.G., Lomakin A.G. *The room thermal stability to be considered when calculating the room cooling load. S.O.K. — Plumbing, Heating, Air-Conditioning.* 2020; 2(218):80-84. EDN QBVVDT. (rus.).
17. Efremov S.N., Timofeev V.A., Gonchar A.B. Analysis of the use of the air conditioning system taking into account the ten-year climate change in the city of Sevastopol. *Eurasian Union Scientists.* 2021; 3-7(84):34-38. DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2021.7.84.1306. EDN ZUGKYF. (rus.).
18. Savin V.K. Influence of Global Warming on Building Energy Efficiency. *AVOK.* 2020; 6:52-59. EDN VLNPVJ. (rus.).

Received September 16, 2024.

Adopted in revised form on September 29, 2024.

Approved for publication on October 20, 2024.

BIO NOTES: **Elena G. Malyavina** — Candidate of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Heat, Gas Supply and Ventilation; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 000-0002-5832-8530; emal@list.ru;

Maksim I. Uryadov — postgraduate student of the Department of Heat, Gas Supply and Ventilation; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; uryadovmaxim@yandex.ru.

Authors' contribution:

Elena G. Malyavina — research concept, scientific editing of the text, writing the final text, final conclusions and conclusion.

Maksim I. Uryadov — idea, collection and processing of material, calculation and processing of results, drawing up graphs of dependencies, literature review.

The authors declare no conflict of interest.