

УДК 697.94.001.24

В.И. КОСТИН, В.Н. ДОЛЖИКОВ

**ВЛИЯНИЕ СУТОЧНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ
ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ НА РАСХОД ХОЛОДА
СИСТЕМАМИ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА**

Суточный режим работы общественных зданий зависит от их назначения, а затраты холода на поддержание требуемого микроклимата определяются суточной динамикой температуры наружного воздуха и поступлений в помещение теплоты, аккумулирующейся в ограждающих конструкциях и выделяемой людьми и технологическими процессами. В статье приводятся результаты расчета требуемой холодильной мощности для пяти вариантов суточного режима работы зданий. Показано, что режим работы влияет как на расчетную холодильную мощность, так и на метод регулирования климатизационных установок. Определены условия, при которых системы охлаждения воздуха могут быть совмещены с приточной вентиляцией.

К л ю ч е в ы е с л о в а: режим работы, общественные здания, расход воздуха, системы кондиционирования воздуха.

DOI 10.32683/0536-1052-2021-748-4-65-71

Введение. На суточную динамику расхода холода на поддержание в помещениях требуемой температуры $t_{в}$ оказывают противоположное влияние два явления: суточные колебания температуры наружного воздуха $t_{н}$ и поступления теплоты, аккумулирующейся в ограждающих конструкциях $Q_{ог}$. Если максимум $t_{н}$ приходится на 15 ч, то $Q_{ог}$ достигает наибольшего значения в 23–24 ч и даже позже [1, 2]. Математическая модель теплового режима помещений для летнего времени впервые была создана В.Н. Богословским [1, 2]. На ее основе был разработан инженерный метод расчета естественного теплового режима зданий. Методика расчета регулируемого режима, предусматривающая охлаждение воздуха, была предложена Е.Г. Малявиной [3]. Позднее она изучала влияние теплоустойчивости зданий на выбор кондиционеров [4] и предложила метод определения энергетически целесообразной температуры наружного воздуха для перехода на свободное охлаждение помещений [5].

Новую математическую модель теплового режима зданий, позволяющую делать почасовые расчеты температуры $t_{в}$ и динамики энергозатрат на охлаждение помещений $Q_{хол}$, разработал Ю.А. Табунщиков [6, 7]. На ее базе была произведена серия исследований, например [8, 9]. В работе [8] определялись годовые энергозатраты на отопление и охлаждение зданий. В статье [9] изучалось влияние числа рабочих смен промышленных зданий на необходимый в теплый период воздухообмен. Статья [10] была посвящена определению расхода холода на поддержание в помещениях постоянной температуры. В [11] исследовалось влияние динамики внутренних теплопоступлений

на выбор ограждающих конструкций, а в [12] – изменение теплового баланса промышленных зданий в летние месяцы.

Из приведенного обзора видно, что влияние числа и суточного времени рабочих смен изучалось только для промышленных зданий [9–11]. Между тем режим работы общественных зданий также не одинаков (круглосуточный, дневной, вечерний, ночной), и число часов работы может быть разным. Учет этого фактора позволяет создавать более экономичные системы климатизации.

Цель работы – исследование влияния суточного режима работы общественных зданий на расчетную величину холодильной мощности системы кондиционирования. Оптимизационные задачи в данной статье не рассматривались.

Определение расчетной холодильной мощности. Вычисления производились для верхнего и промежуточного этажей здания общественного назначения. Размеры в плане 64×36 м. Фасадные стороны имеют ориентацию на юг и север. Объем помещений 10 800 м³. Внутренние теплопоступления 32,4 кВт. Кратность воздухообмена 3. При исследовании использовались следующие нормативные документы: «Здания общественные и жилые. Параметры микроклимата в помещениях. ГОСТ 30494–2011», «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция. СНиП 41-02–2003. СП 50.13330.2016», «Строительная климатология. Актуализированная редакция. СНиП 23-01–99*. СП 13330.2018». За основу анализа принята математическая модель Ю.А. Табунщикова [6]. Вычисления производились по программе НП «АВОК» 5.1–2008. Расчет нагрузки на систему кондиционирования воздуха при нестационарных теплопоступлениях производился для Москвы, Новосибирска и Ростова. Рассматривались следующие варианты работы:

1. С 9 до 18 ч;
2. С 11 до 20 ч;
3. С 15 до 24 ч;
4. С 21 до 6 ч;
5. Круглосуточный.

Расчетная мощность $Q_{\text{хол}}$ определялась из условия поддержания $t_{\text{в}}$ воздуха не выше предела, установленного ГОСТ 30494–2011. Кроме того, на первом этапе вычислений принималось, что система охлаждения действовала в течение всего рабочего времени с постоянной мощностью. Так как качественные результаты расчетов для обоих этажей оказались идентичными, то производимые в дальнейшем числовые показатели относятся к промежуточному этажу.

Для всех пяти вариантов результаты оказались разными. Наибольшие значения $Q_{\text{хол}}$ получились для варианта 3, наименьшие – для варианта 4. Возникает вопрос: действительно ли необходимо охлаждать воздух в течение всего рабочего периода дня. В качестве критерия оценки результатов первого этапа расчетов использовалась величина разности $\Delta t_{\text{в}}$ между максимальной и минимальной суточной температурами $t_{\text{в}}$ (табл. 1). В последней колонке приведена для сравнения суточная амплитуда температуры наружного воздуха $\Delta t_{\text{н}}$.

Таблица 1. Разность Δt_v между максимальной и минимальной суточными температурами t_v , °С

Город	Вариант					Δt_v , °С
	1	2	3	4	5	
Москва	2,8	1,5	6	6,5	7,7	10,4
Новосибирск	2,5	1,4	6,3	7,4	8,1	11,4
Ростов	2,7	1,6	6,7	7,7	9	12,3

Из табл. 1 видно, что для первых двух вариантов Δt_v лежит в пределах, характерных для помещений без избыточного охлаждения. В остальных случаях величина Δt_v соизмерима с Δt_n , что свидетельствует о необходимости уменьшения суточной подачи холода. После серии расчетов были приняты следующие решения.

Вариант 3. Изменение числа часов работы системы охлаждения (с 15 до 20 ч вместо с 15 до 24 ч) при увеличении ее мощности: для Москвы на 13,8 %; Новосибирска 13,6; для Ростова на 14,3 %. В результате уменьшение суточного расхода холода, по сравнению с расчетами по первому этапу, составило соответственно: 61,6; 61,4; 64,3 %.

Вариант 4. Включение системы охлаждения за два часа до начала работы при той же мощности $Q_{хол}$ на период с 19 до 23 ч.

Вариант 5. Выключение системы охлаждения с 22 до 8 ч.

Следовательно, не только расчетная величина $Q_{хол}$, но и способ регулирования интенсивности охлаждения зависит от суточного периода производимой в помещении работы.

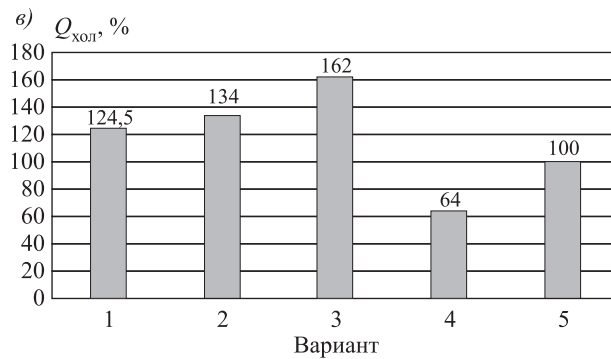
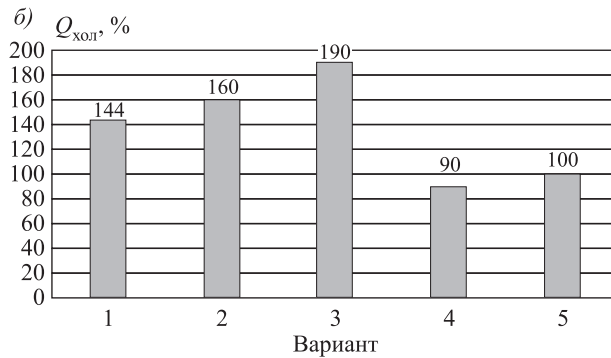
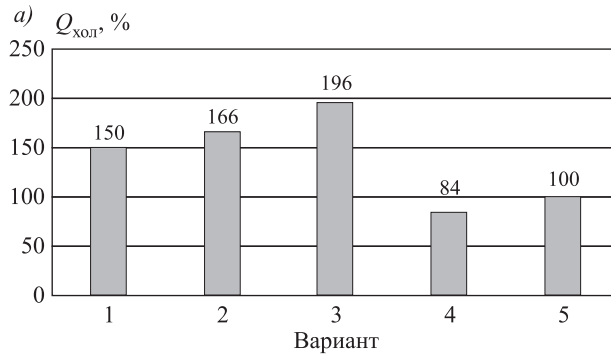
Небезынтересно сопоставить время наступления максимальной суточной температуры $t_{v\max1}$ и максимальной за рабочий период $t_{v\max2}$ (табл. 2).

Как видно из табл. 2, максимум $t_{v\max1}$ не совпадает с рабочим периодом для всех вариантов, кроме, естественно, 5. Однако разница по времени наступления $t_{v\max1}$ и $t_{v\max2}$ лежит, в зависимости от варианта, в пределах от 2 до 8 ч.

Сопоставление расчетных холодильных мощностей, полученных в результате вычислений по второму этапу, приведены для Москвы, Новоси-

Таблица 2. Сопоставление времени наступления максимальной суточной и максимальной за рабочий период температуры, ч

Город	Вариант				
	1	2	3	4	5
Максимальная суточная температура $t_{v\max1}$					
Москва	21	10	14	19	17
Новосибирск	21	10	14	20	18
Ростов	8	10	14	18	17
Максимальная температура за рабочий период $t_{v\max2}$					
Москва	17	16	15	21	17
Новосибирск	17	17	17	21	18
Ростов	16	16	15	21	17



Сопоставление расчетных холодильных мощностей для Москвы (а), Новосибирска (б) и Ростова (в)

бирска, Ростова на рисунке. Сравнение дано в процентах по отношению к варианту 5.

Из рисунка видно, что соотношения между холодильными мощностями зависят и от климатических условий.

Сопоставление периода работы, производимой в помещении, и времени функционирования системы охлаждения приведено в табл. 3.

Таблица 3. Сопоставление периода работы в помещении и времени действия системы охлаждения, ч

Время работы	Вариант				
	1	2	3	4	5
Помещение	9–18	11–20	15–24	21–6	Круглосуточно
Система охлаждения	9–18	11–20	15–24	19–23	8–22

Таблица 4. Минимальная температура t_n наружного воздуха в рабочий период, °С

Город	Вариант				
	1	2	3	4	5
Москва	19	22	17,9	15,2	15,2
Новосибирск	18,8	21,8	17,5	14,6	14,6
Ростов	22,3	25,4	20,8	17,7	17,7

Таблица 5. Максимальная разность температур $\Delta t_{пр}$ между воздухом помещения и приточным воздухом, °С

Город	Вариант				
	1	2	3	4	5
Москва	6,9	7,6	9	3,9	4,6
Новосибирск	6,6	7,35	8,73	4,13	4,6
Ростов	8,45	8,72	10,6	4,13	6,52

В заключение остановимся на проблеме расчета воздухораспределения, которое, как известно, производится из условия создания температуры воздуха в помещении и его подвижности в нормируемых пределах. В табл. 4 приведены минимальные температуры наружного воздуха в рабочий период t_n .

Из табл. 4 видно, что в большинстве приведенных случаев проблема раздачи воздуха решается непросто. И она усложняется при совмещении системы охлаждения с приточной вентиляцией. В табл. 5 приведена максимальная разность температур $\Delta t_{пр}$ между воздухом помещения и приточным воздухом.

В характерных для большинства зданий общественного назначения помещениях высотой до 5 м осуществление раздачи при совмещенной системе охлаждения возможно, на наш взгляд, лишь для варианта 4, да и то далеко не всегда. В любом случае назвать время суток, когда $\Delta t_{пр}$ достигнет максимума, без расчета невозможно.

Выводы. 1. На расчетную величину холодильной мощности и методы регулирования систем климатизации влияет часовой режим работы помещений.

2. Время суток, когда следует производить расчет воздухораспределения, может быть найдено только на основе почасового анализа теплового режима здания.

3. Вопрос о возможности совмещения систем охлаждения с приточной вентиляцией следует рассматривать после расчета воздухораспределения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. М.: Высш. шк., 1970. 326 с.
2. Богословский В.Н. Тепловой режим зданий. М.: Стройиздат, 1979. 248 с.
3. Малявина Е.Г. Нестационарный тепловой режим вентилируемых и кондиционируемых помещений в летний период года. Дис. ... канд. техн. наук. М.: МИСИ, 1976. 160 с.

4. *Малявина Е.Г.* Теплоустойчивость помещений и типоразмер кондиционеров. М.: Стройпрофиль, 2005. № 4. С. 60–62.
5. *Малявина Е.Г., Фролова А.А.* Расчет энергетически целесообразной температуры наружного воздуха для перехода на свободное охлаждение кондиционируемых помещений // Известия вузов. Строительство. 2012. № 11-12. С. 71–78.
6. *Табунищников Ю.А., Бродач М.М.* Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. 194 с.
7. *Tabunshchikov Yu.A.* Mathematical models of thermal conditions in buildings. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 1993.
8. *Табунищников Ю.А., Миллер Ю.В.* Оценка годового расхода энергии на отопление и охлаждение зданий // АВОК. 2013. № 3. С. 56–63.
9. *Костин В.И., Федоров Б.А.* Проблемы расчета воздухообмена в помещениях с избытками теплоты в теплый период // Известия вузов. Строительство. 2011. № 6. С. 54–58.
10. *Костин В.И., Кармишикина А.В.* Особенности расчета холодопроизводительности систем климатизации термokonстантных помещений // Известия вузов. Строительство. 2014. № 6. С. 74–78.
11. *Костин В.И.* Влияние внутренних теплоступлений на выбор ограждающих конструкций и объемно-планировочных решений // АВОК. 2016. № 1. С. 48–52.
12. *Костин В.И., Матыцина Ю.В.* Динамика теплового баланса промышленных зданий в летние месяцы // Известия вузов. Строительство. 2020. № 3. С. 49–56.

Костин Владимир Иванович, д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Должиков Виктор Николаевич, канд. техн. наук

Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств им. А.Д. Крячкова

Получено 15.03.2021

Kostin Vladimir Ivanovich, DSc, Professor

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Dolzhikov Viktor Nikolaevich, PhD

Kryachkov Novosibirsk State University of Architecture, Design and Arts, Russia

INFLUENCE OF THE DAILY OPERATING MODE OF PUBLIC BUILDINGS ON THE CONSUMPTION OF COLD BY AIR CONDITIONING SYSTEMS

The daily operating mode of public buildings depends on their purpose, and the costs of cold for maintaining the required microclimate are determined by the daily dynamics of the outdoor air temperature and the heat entering the room, accumulated in the enclosing structures, and released by people and technological processes. The article presents the results of calculating the required cooling capacity for five variants of the daily operating mode of buildings. It is shown that the operating mode affects both the calculated cooling capacity and the method of regulating air conditioning units. The conditions under which air cooling systems can be combined with supply ventilation are determined.

Key words: operating mode, public buildings, air consumption, air conditioning systems.

REFERENCES

1. *Bogoslovskiy V.N.* Stroitel'naya teplofizika [Construction thermophysics]. Moscow, 1970. 326 p. (in Russian)

2. *Bogoslovskiy V.N.* Teplovoy rezhim zdaniy [Thermal regime of buildings]. Moscow, Stroyizdat, 1979. 248 p. (in Russian)
3. *Malyavina E.G.* Nestatsionarnyy teplovoy rezhim ventiliruemykh i konditsioniruemykh pomeshcheniy v letniy period goda: Dis. ... kand. tekhn. nauk [Non-stationary thermal regime of ventilated and air-conditioned premises in the summer period of the year. Candidate's thesis]. Moscow, 1976. 160 p. (in Russian)
4. *Malyavina E.G.* Teploustoychivost' pomeshcheniy i tiporazmer konditsionerov [Heat resistance of premises and the standard size of air conditioners]. Moscow, Stroyprofil', 2005. No. 4. Pp. 60–62. (in Russian)
5. *Malyavina E.G., Frolova A.A.* Raschet energeticheski tselesoobraznoy temperatury naruzhnogo vozdukh dlya perekhoda na svobodnoye okhlazhdeniye konditsioniruemykh pomeshcheniy [Calculation of the energetically expediency external air temperature for transition to free cooling of conditioned rooms]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2012. No. 11-12. Pp. 71–78. (in Russian)
6. *Tabunshchikov Yu.A., Brodach M.M.* Matematicheskoye modelirovaniye i optimizatsiya teplovoy effektivnosti zdaniy [Mathematical modeling and optimization of thermal efficiency of buildings]. Moscow, AVOK-PRESS, 2002. 194 p. (in Russian)
7. *Tabunshchikov Yu.A.* Mathematical models of thermal conditions in buildings. Boca Ration, FL, USA: CRC Press, 1993.
8. *Tabunshchikov Yu.A., Miller Yu.V.* Otsenka godovogo raskhoda energii na otopleniye i okhlazhdeniye zdaniy [Assessment of the annual energy consumption for heating and cooling of buildings]. AVOK. 2013. No. 3. Pp. 56–63. (in Russian)
9. *Kostin V.I., Fedorov B.A.* Problemy rascheta vozdukhoobmena v pomeshcheniyakh s izbytkami teploty v tepley period [Problems of calculating of air exchange in rooms with excess heat in the warm period]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2011. No. 6. Pp. 54–58. (in Russian)
10. *Kostin V.I., Karmishkina A.V.* Osobennosti rascheta kholodoproizvoditel'nosti sistem klimatizatsii termokonstantnykh pomeshcheniy [Features of calculating the cooling capacity of air conditioning systems of thermoconstant rooms]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2014. No. 6. Pp. 74–78. (in Russian)
11. *Kostin V.I.* Vliyaniye vnutrennikh teplopostupleniy na vybor ograzhdayushchikh konstruktsiy i ob'emno-planirovochnykh resheniy [The influence of internal heat access on the choice of enclosing structures and space-planning solutions]. AVOK. 2016. No. 1. Pp. 48–52. (in Russian)
12. *Kostin V.I., Matytsina Yu.V.* Dinamika teplovogo balansa promyshlennykh zdaniy v letniye mesyatsy [Dynamics of thermal balance of industrial buildings in the summer months]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2020. No. 3. Pp. 49–56. (in Russian)