

Градусо-сутки отопительного и охлаждающего периодов для климатических условий города Москвы

Рецензия эксперта на статью получена
15.04.2024 [The expert review of the article
was received on April 15, 2024]

Введение

В холодный период года на всей территории Российской Федерации практически во всех зданиях устанавливается режим отопления. По мере уменьшения температуры наружного воздуха и интенсивности солнечной радиации возрастают теплопотери через наружные ограждающие конструкции, а также на нагревание вентиляционного воздуха. При определённой температуре наружного воздуха внутренние источники тепловыделений не могут в полной мере компенсировать потери, поэтому к зданию подводится тепловая энергия. С этого периода начинается отопительный период.

Параметры отопительного периода — продолжительность и средняя за отопительный период температура наружного воздуха — зависят от климатических условий местности, в которой расположено здание, а также от требуемых для комфортных условий проживания или работы параметров внутреннего микроклимата. Усреднённые значения этих параметров приведены в табл. 3.1 СП 131.13330.2020 «Строительная климатология». В соответствии с требованиями п. 5 Постановления Правительства РФ от 6 мая 2011 года №354 отопительный период должен начинаться не позднее и заканчиваться не ранее дня, следующего за днём окончания пятидневного периода, в течение которого соответственно среднесуточная температура наружного воздуха ниже 8°C или среднесуточная температура наружного воздуха выше 8°C.

Наблюдения показывают, что в приземном слое атмосферы на большей части



❖ Фото 1. Крепление наружных блоков кондиционеров к лицевому слою многослойных стен

территории страны наблюдается устойчивое повышение температуры наружного воздуха [1–3]. С одной стороны, данный тренд имеет положительный эффект, благодаря которому уменьшается продолжительность и градусо-сутки отопительного периода, а следовательно, и расход тепловой энергии на отопление зданий, с другой — увеличивается продолжительность тёплого периода года, и всё более отчётливой становится потребность в охлаждении внутреннего воздуха летом.

В настоящее время преобладают системы децентрализованного холодоснабжения, когда жители многоквартирных домов или владельцы (арендаторы) офисов в индивидуальном порядке устанавливают на фасадах или крышах зданий индивидуальные кондиционеры (фото 1 и 2).

УДК 697.94. Научная специальность: 2.1.3.

Градусо-сутки отопительного и охлаждающего периодов для климатических условий города Москвы

Н. В. Варламов, к.э.н., первый заместитель генерального директора АО «Газпром промгаз» (Московская область, г. Видное); **А. С. Горшков**, д.т.н., заведующий отделом разработки схем и программ развития систем энергообеспечения АО «Газпром промгаз»; **А. Е. Жирнов**, главный инженер проекта АО «Газпром промгаз»; **А. Ю. Лезер**, к.э.н., директор Инженерного центра АО «Газпром промгаз»; **Н. А. Паращенко**, начальник конструкторско-технологического отдела АО «Газпром промгаз»

Климат Земли меняется, повышается температура наружного воздуха в приземном слое планеты. Это способствует сокращению холодного (отопительного) периода года и возрастанию тёплого. Возрастает потребность зданий в холоде. Для повышения уровня комфорта граждан страны в тёплый период года требуется разработка эффективных технических решений, направленных на поддержание комфортных параметров микроклимата не только в холодный, но и в тёплый период года. Наиболее эффективно эта задача может быть решена при использовании централизованных систем холодоснабжения. Для развития систем централизованного холодоснабжения важно определить границы начала и окончания периода охлаждения. В работе представлена модель установления границ начала и окончания периода охлаждения и определения его градусо-суток. Представленная модель основана на уравнении баланса притока и отвода теплоты из помещений в наиболее тёплые периоды года.

Ключевые слова: климат, здания, тепловой баланс, микроклимат в помещениях, градусо-сутки, период охлаждения.

UDC 697.94. The number of scientific specialty: 2.1.3.

Degree-day heating and cooling periods for the climatic conditions of the city of Moscow

N. V. Varlamov, PhD in Economics, First Deputy General Director of "Gazprom Promgaz" JSC (Moscow region, Vidnoye); **A. S. Gorshkov**, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department for the Development of Schemes and Programs for the Development of Energy Supply Systems of "Gazprom Promgaz" JSC; **A. E. Zhirnov**, Chief Project Engineer of "Gazprom Promgaz" JSC; **A. Yu. Lezer**, PhD in Economics, Director of the Engineering Center of "Gazprom Promgaz" JSC; **N. A. Parashchenko**, Head of the Design and Technology Department of "Gazprom Promgaz" JSC

The Earth's climate is changing, and the temperature of the outside air in the surface layer of the planet is rising. This helps to reduce the cold (heating) period of the year and increase the warm one. The demand for cold in buildings is increasing. To increase the comfort level of the country's citizens in the warm season, it is necessary to develop effective technical solutions aimed at maintaining comfortable microclimate parameters not only in the cold, but also in the warm season. This task can be solved most effectively when using centralized cooling systems. For the development of district cooling systems, it is important to determine the boundaries of the beginning and end of the cooling period. The paper presents a model for setting the boundaries of the beginning and end of the cooling period and determining its degree-day. The presented model is based on the equation of the balance of heat inflow and outflow from the premises during the warmest periods of the year.

Keywords: climate, buildings, thermal balance, indoor microclimate, degree-day, cooling period.



❖ Фото 2. Размещение наружных блоков кондиционеров на фасадах исторических зданий

При этом часто нарушаются требования нормативных документов (см. п. 9.37 СП 15.13330.2020 «Каменные и армокаменные конструкции»), а также страдает эстетический вид зданий и их фасадов. В этой связи по аналогии с системами централизованного теплоснабжения представляется целесообразным развитие систем централизованного холодоснабжения, более эффективных и надёжных по сравнению с децентрализованными [4].

Системы централизованного холодоснабжения могут быть реализованы в том числе на источниках тепловой энергии. Для этого на тепловых станциях устанавливаются парокомпрессионные или абсорбционные холодильные машины, позволяющие вырабатывать холод в тёплый период года. Абсорбционные холодильные машины для получения холода могут использовать вырабатываемые на станции пар или перегретую воду. При открытой системе ГВС для подогрева подпиточной воды тепловой сети возможна

утилизация тепла конденсаторов холодильных машин, что повысит эффективность выработки тепла на станциях.

Для реализации данной идеи по аналогии с существующими параметрами отопительного периода требуется установить параметры — продолжительность и градусо-сутки периода охлаждения воздуха в помещениях.

Математическая модель теплового баланса здания для периода охлаждения

Рассмотрим тепловой баланс здания в тёплый период эксплуатации (предположительно — летний) и оценим, при какой температуре наружного воздуха требуется охлаждать помещения.

Схема теплового баланса здания схематично представлена на рис. 1. Представленную на рис. 1 схему аналитически можно описать в виде следующего уравнения баланса притока/отвода теплоты в помещении, оборудованном системой кондиционирования воздуха:

$$K_{\text{м}}^{\text{тр}} A_{\text{н.огр}} \left(t_{\text{н}} + \frac{\rho J}{\alpha_{\text{н}}} - t_{\text{в}}^* \right) + q_{\text{быт}} A_{\text{ж}} = q_{\text{охл}} A_{\text{ж}}, \quad (1)$$

где $K_{\text{м}}^{\text{тр}}$ — приведённый коэффициент теплопередачи через наружные ограждающие конструкции здания, Вт/(м²·К); $A_{\text{н.огр}}$ — площадь наружных ограждающих конструкций, м²; $t_{\text{н}}$ — температура наружного воздуха, °С; ρ — коэффициент поглощения солнечной радиации; J — интенсивность солнечной радиации, Вт/м²; $\alpha_{\text{н}}$ — коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающих конструкций, Вт/(м²·К); $t_{\text{в}}^*$ — верхняя граница допустимого диапазона температур для тёплого периода года, согласно данным ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и обществен-

ные» $t_{\text{в}}^* = 28^\circ\text{C}$; $q_{\text{быт}}$ — удельные бытовые теплопоступления в здании, Вт/м²; $q_{\text{охл}}$ — удельная нагрузка на охлаждение жилых помещений, Вт/м²; $A_{\text{ж}}$ — жилая площадь здания, м².

В левой части уравнения (1) показаны основные теплопритоки в помещение в тёплый период года, в правой — нагрузка системы охлаждения, требуемая для поддержания в здании требуемой температуры внутреннего воздуха $t_{\text{в}}^*$.

Режим вентиляции и теплопоступления с вентиляцией здесь не рассматриваются, так как в тёплый период года в безветренную погоду вклад режима естественной вентиляции помещений в тепловой баланс оказывается незначительным.

Выражение вида:

$$t_{\text{н.усл}} = t_{\text{н}} + \frac{\rho J}{\alpha_{\text{н}}}, \quad (2)$$

отражает так называемую «условную температуру внешней среды», учитывающую не только температуру наружного воздуха, но и вклад в неё солнечной радиации.

Введение условной температуры наружного воздуха позволяет учесть теплопоступления от солнечной радиации.

Параметры отопительного периода (продолжительность и средняя за отопительный период температура наружного воздуха) зависят от климатических условий местности, в которой расположено здание, и от требуемых для комфортных условий проживания или работы параметров внутреннего микроклимата

Целью составления уравнения теплового баланса здания является установление температуры наружного воздуха, при которой теплоизбытки в помещении приводят к повышению температуры внутреннего воздуха $t_{\text{в}}$ выше допустимого предела $t_{\text{в}}^*$, то есть когда $t_{\text{в}} \geq t_{\text{в}}^*$.

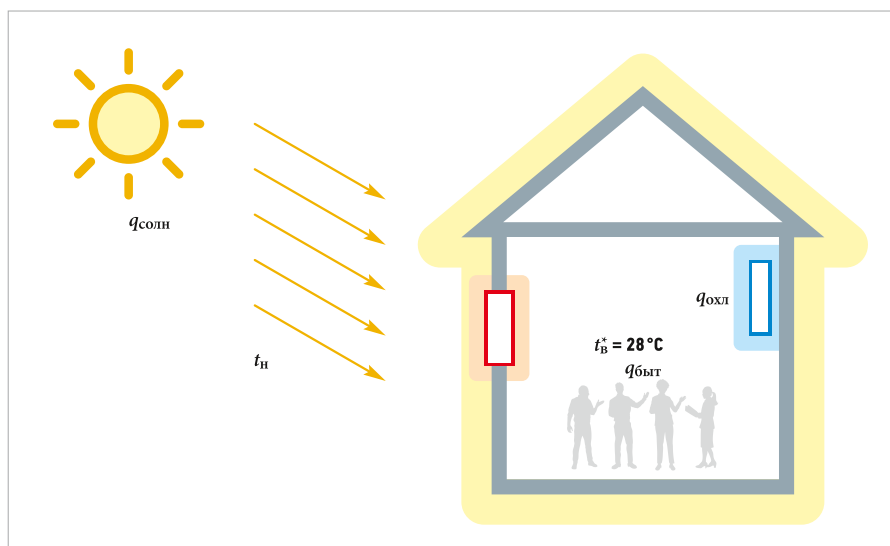
Из схемы, представленной на рис. 1, становится понятным, что избытки тепла в помещениях должна компенсировать система охлаждения.

Примем $q_{\text{охл}} = 0$. В этом случае можно рассчитать температуру наружного воздуха, при которой становится необходимым кондиционирование помещений в тёплый период года.

Получим выражение вида:

$$t_{\text{н}} = t_{\text{в}}^* - \frac{\rho J}{\alpha_{\text{н}}} - \frac{q_{\text{быт}} A_{\text{ж}}}{K_{\text{м}}^{\text{тр}} A_{\text{н.огр}}}, \quad (3)$$

где все обозначения те же, что и в уравнении (1).



❖ Рис. 1. Схема теплового баланса здания в тёплый период года

Для установления конкретных значений температуры наружного воздуха, при которой требуется кондиционирование помещений, введём ряд следующих упрощений и допущений.

В соответствии с данными табл. И.2 СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», на географической широте 56° для фасадов западной ориентации среднее значение суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной) на вертикальные поверхности принято равным 200 Вт/м².

Для фасадов, ориентированных по всем восьми румбам, среднесуточные значения поверхностной плотности потока солнечной радиации (прямой и рассеянной), поступающей в июле на вертикальные поверхности для географической широты 56°, приведены в Пособии 2.91 к СНиП 2.04.05–91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» (рис. 2).

Усреднённое по всем восьми румбам значение среднесуточной поверхностной плотности потока солнечной радиации, поступающей в июле на вертикальные поверхности для географической широты 56° составит:

$$\bar{J} = \frac{\sum_{i=1}^8 J_i}{8} = \frac{80 + 129 + 201 + 202 + 187}{8} + \frac{202 + 201 + 129}{8} = 166,4 \text{ Вт/м}^2.$$

Усреднённый для наружных поверхностей зданий коэффициент поглощения солнечной радиации примем равным 0,6.

Коэффициент теплоотдачи наружных вертикальных ограждающих конструкций рассчитывается по формуле:

$$\alpha_n = 5,8 + 11,6\sqrt{v}, \quad (4)$$

где v — скорость ветра [м/с], которая принимается равной минимальной из средних скоростей ветра по румбам за июль, в СП 131.13330 для климатических условий Москвы она установлена равной 0 м/с, но должна приниматься не менее 1 м/с. Тогда

$$\alpha_n = 5,8 + 11,6\sqrt{1,0} = 17,4 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$$

Для упрощения дальнейших расчётов, с учётом того, что скорость ветра может оказаться выше 1 м/с, примем её равной 20 Вт/(м²·К).

Величину внутренних бытовых тепловыделений для тёплого периода года примем равной 5 Вт/м². Это значение ниже, рекомендуемых в СП 50.13330, так как летом теплоступления от внутренних источников тепла ниже, чем зимой. Максимум теплоступлений от солнечной радиации приходится на дневное время, когда люди редко используют искусственное освещение. Если обеспеченность жилой площадью в Москве принять рав-

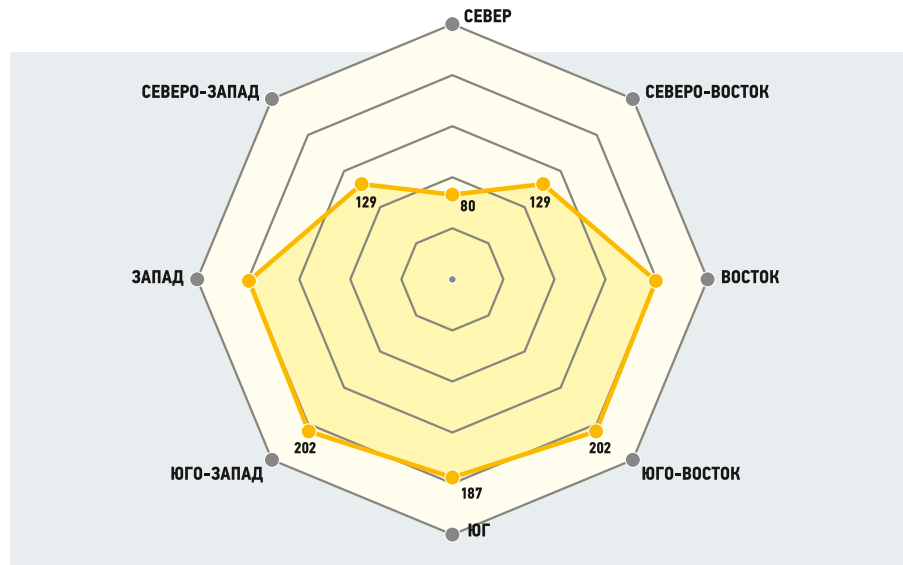


Рис. 2. Среднесуточные значения поверхностная плотность потока солнечной радиации (прямой и рассеянной), поступающей в июле на вертикальные поверхности для 56° с. ш.

ной 20 м² на человека, то удельные тепловыделения на человека составят около 100/20 = 5 Вт/м².

Приведённый коэффициент теплопередачи через наружные ограждающие конструкции здания K_m^{tr} примем равным 0,5 м²·К/Вт (характерный для нового строительства случай).

Отношение жилой площади здания к площади наружных ограждающих конструкций примем равным 0,4 (из опыта проектирования).

Подставим принятые с допущениями значения показателей, входящих в уравнение (3). Получим:

$$\begin{aligned} t_n &= t_v^* - \frac{\rho J}{\alpha_n} - \frac{q_{быт} A_{ж}}{K_m^{tr} A_{н.огр}} = \\ &= 28 - \frac{0,6 \times 166,4}{20} - \frac{5}{0,5} \times 0,4 = \\ &= 28 - 5 - 4 \approx 19^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

Таким образом, видно, что в тёплое время года уже при температуре наружного воздуха +19°C в Москве требуется охлаждать помещения, поскольку бытовые и солнечные теплоступления приводят к перегреву помещений.

Интенсивность солнечной радиации оказывает существенное значение на величину температуры начала периода охлаждения. Данная зависимость представлена на рис. 3 в пределах от нулевого значения интенсивности солнечной радиации до максимально возможного для климата Москвы (699 Вт/м²).

Из рис. 3 видно, что при интенсивности солнечной радиации 700 Вт/м² и при учёте бытовых тепловыделений охлаждение воздуха в помещениях может потребоваться уже при температуре наружного воздуха 3°C. Понятно, что это маловероятный сценарий, причём как для летних, так и для зимних условий в Москве.

Поэтому для практических целей летнего режима охлаждения воздуха в зданиях достаточно пользоваться верхней частью этого графика — при температуре наружного воздуха 16°C и выше. Попадание в область, расположенную выше прямой на графике рис. 4, означает необходимость использования системы охлаждения воздуха в помещениях, ниже — отсутствие такой необходимости.

Аналогичная зависимость, построенная без учёта бытовых тепловыделений, представлена на рис. 3 сплошной линией.

Интенсивность солнечной радиации оказывает существенное значение на величину температуры начала периода охлаждения. Данная зависимость представлена на рис. 3

В работе [5] температура наружного воздуха начала/окончания охлаждающего периода применительно для климата Москвы была оценена в диапазоне 12,6–13,7°C. Такое значение представляется в значительной степени заниженным, что обусловлено высокой долей удельных бытовых теплоступлений, принятых автором в модели расчёта.

В исследовании [6] температурная граница начала/окончания охлаждающего периода получена равной 20°C, что значительно ближе к полученному в настоящем исследовании результату. В статье [7] обосновано более высокое значение базовой температуры для начала периода охлаждения, равное 21°C. Это же значение температуры принято в качестве базового в СП 370.1325800.2017 «Устройства солнцезащитные зданий».

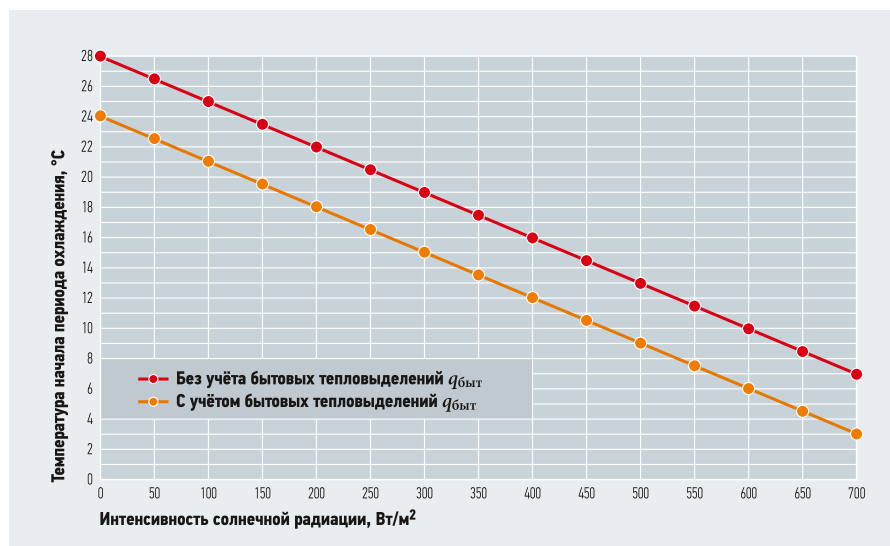


Рис. 3. Зависимость температуры начала периода охлаждения от солнечной радиации

В США при оценке продолжительности охлаждающего периода (Cooling Degree Days, CDD) точкой начала для расчёта CDD принимается температура наружного воздуха выше 65°F (18,3°C) [5], в Великобритании — +15,5°C [7], в странах Евросоюза — +21°C [8], в Индии — +26°C [9]. При этом в странах Евросоюза для расчёта CDD учитываются только дни со среднесуточной температурой воздуха, равной или превышающей 24°C. Следует отметить, что полученная оценка температуры начала периода охлаждения получена без учёта теплоты от солнечной радиации, поступающей в помещения через светопрозрачные ограждения.

В ночное время суток солнечная радиация отсутствует. В этой связи произведём оценку температуры наружного воздуха по формуле (3) без учёта теплопоступлений от солнечной радиации. Получим значение, равное:

$$t_n = t_v^* - \frac{q_{\text{быт}} A_{\text{ж}}}{K_m^{\text{tr}} A_{\text{н.орг}}} = 28 - \frac{5}{0,5} \times 0,4 = 24^\circ\text{C}.$$

То есть в ночное время суток для обеспечения комфортных условий микроклимата в помещениях температура наружного воздуха, при которой требуется охлаждение, оказывается выше, чем днём. Долгота дня в Москве летом составляет от 14 ч в августе до 17,5 ч в июне.

Прямая и рассеянная солнечная радиация, поступающая в помещение через светопрозрачные ограждения, частично поглощается поверхностями ограждающих конструкций (стен, полов, перегородок, колонн, потолка, мебели, оборудования), частично отражается от них и покидает помещение через остекление. И только поступившая (оставшаяся) доля ассимилируется воздухом помещения и является составляющей нагрузки на систему кондиционирования. Величина этой доли зависит от характеристик теплоусвоения и теплопоглощения внутренними несущими

и ограждающими конструкциями, а также предметами интерьера и мебелью.

С учётом теплоусвоения солнечной радиации внутренними ограждениями и предметами интерьера даже после захода солнца за горизонт температура воздуха в помещении ещё какое-то время будет оставаться повышенной за счёт теплоотдачи поверхностями ассимилированной ими днём теплоты внутреннему воздуху, в связи с чем период охлаждения воздуха будет продолжаться. В то же время в утренние часы, несмотря на приход солнечной радиации, за счёт того же теплопоглощения солнечной радиации внутренними ограждениями и предметами интерьера температура воздуха будет повышаться с некоторым отставанием относительно возрастания условной температуры наружного воздуха, что будет частично или полностью компенсировать время вынужденного кондиционирования воздуха в более ранние ночные (вечерние) часы суток.

Если среднюю долготу дня в летний период принять равной 16 ч, то уточнённое средневзвешенное значение температуры наружного воздуха для определения граничных дат начала/окончания периода охлаждения воздуха в помещениях можно принять равным:

$$t_n = \frac{19 \times 16 + 24 \times 8}{24} = 20,7^\circ\text{C}.$$

Полученная таким образом оценка коррелирует с результатами, приведёнными в работах [6, 7]. После округления полученного значения до целых чисел окончательно температуру начала/окончания охлаждающего периода примем равной 21°C, которая полностью соответствует базовому значению температуры наружного воздуха, устанавливаемой Eurostat при определении величины CDD [8], и СП 370.1325800 при определении периода охлаждения.

Математическая модель теплового баланса здания для отопительного периода

Рассмотрим тепловой баланс здания в переходный период по мере приближения отопительного сезона и определим температуры начала и окончания отопительного периода.

Для этого также воспользуемся уравнением баланса, но следующего вида:

$$K_m^{\text{tr}} A_{\text{н.орг}} (t_v^* - t_n) - q_{\text{быт}} A_{\text{ж}} = 0, \quad (5)$$

где все обозначения те же, что и в (1).

В уравнении (1) не учтены солнечные теплопоступления. Знак «ноль» в правой части уравнения означает, что охлаждающий период уже закончился, а отопительный — ещё не начался. Положительная разница температур направлена от внутреннего воздуха к наружному, то есть потери теплоты через наружную оболочку здания теперь нужно считать изнутри наружу. Соответственно, бытовые тепловыделения теперь имеют противоположный знак, поскольку они стремятся нагреть помещение. В уравнении (1) бытовые и трансмиссионные потоки тепловой энергии относились к теплопоступлениям (выступали в качестве источников членов в уравнении баланса), в уравнении (5) бытовые тепловыделения остаются источником членом теплового баланса, а трансмиссионные — стоковым.

Если рассматривать один и тот же так называемый «модельный объект», то значения K_m^{tr} , $A_{\text{н.орг}}$ и $A_{\text{ж}}$ остаются неизменными (объективности ради отметим, что значения K_m^{tr} в тёплый и холодный периоды года всё же будут отличаться ввиду чисто физических причин, поскольку $\lambda = f(t)$, но эти изменения окажутся не столь значительными и на конечный результат практически не повлияют). А вот бытовые теплопоступления $q_{\text{быт}}$ и расчётную температуру внутреннего воздуха t_v^* следует принимать несколько иными.

Температуру внутреннего воздуха для холодного периода года следует принимать равной минимально допустимой по ГОСТ 30494, то есть 18°C.

Бытовые тепловыделения в переходный период, по сравнению с тёплым периодом года, также возрастают. Во-первых, возрастает заселённость квартир, поскольку летом многие жильцы находятся в отпусках или проживают за городом (ввиду того же ими реже используются электрические приборы и оборудование), во-вторых, летом значительно меньше используется освещение. Ввиду этого величину бытовых тепловыделений $q_{\text{быт}}$ для переходного периода примем равной 12 Вт/м².

Найдём из уравнения (5) выражение для наружной температуры t_n . Получим:

$$t_n = t_b^* - \frac{q_{\text{быт}} A_{\text{ж}}}{K_m^{\text{тр}} A_{\text{н.огр}}} \quad (6)$$

Подставим в уравнение (6) исходные данные. Получим:

$$t_n = t_b^* - \frac{q_{\text{быт}} A_{\text{ж}}}{K_m^{\text{тр}} A_{\text{н.огр}}} = 18 - \frac{12 \times 0,4}{0,5} = 18 - 9,6 = 8,4^\circ\text{C}.$$

Полученное значение оказалось близким к тому, которое принято для установления начала/окончания отопительного периода в жилых зданиях ($+8^\circ\text{C}$). Небольшое различие обусловлено в основном тем, что ранее удельные бытовые тепловыделения $q_{\text{быт}}$ принимались, как правило, выше (до 17 Вт/м^2), а приведённый коэффициент теплопередачи через наружные ограждающие конструкции зданий $K_m^{\text{тр}}$ — ниже. В этой связи, возможно, целесообразным является установление различной продолжительности отопительного периода для зданий, обладающих различными теплозащитными свойствами ограждающих конструкций, то есть для более утеплённых зданий продолжительность отопительного периода может быть в значительной степени сокращена. А для зданий, построенных до повышения требований по тепловой защите, начало отопительного периода следует назначать раньше, а окончание — позже. Для некоторых жителей температура внутреннего воздуха 18°C может оказаться недостаточно комфортной. Если в формулу (6) вместо 18°C подставить 20 или 22°C , то становятся понятными жалобы многих жильцов на дискомфорт в жилых помещениях перед началом отопительного периода.

Полученные результаты и их обсуждение

Таким образом, можно выделить следующие периоды работы инженерных систем в жилых зданиях в течение года:

- **отопительный**, в течение которого для поддержания комфортных параметров микроклимата в здании требуется включение системы отопления;
- **охлаждающий**, в течение которого для поддержания комфортных параметров микроклимата в здании требуется включение системы кондиционирования помещений;
- **переходный**, в течение которого в здании устанавливаются комфортные или допустимые условия без искусственного нагрева и охлаждения воздуха, причём таких переходных периодов в течение года будет наблюдаться два: *первый* (поздней весной в начале лета — после окон-

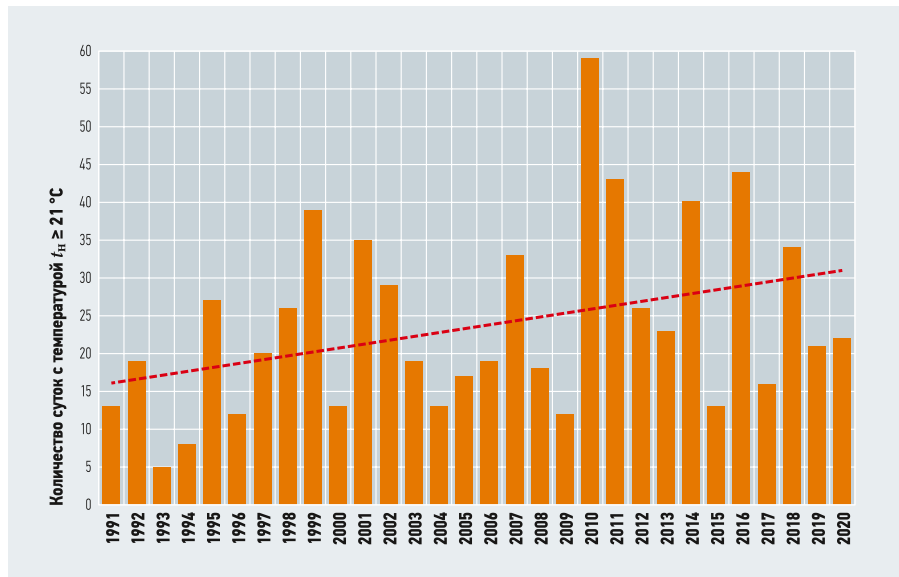


Рис. 4. Количество суток с температурой $t_n \geq 21^\circ\text{C}$ в городе Москве

чания отопительного периода и до начала охлаждающего) и *второй* (в конце лета и начале осени — после окончания охлаждающего периода перед началом следующего отопительного).

Их характерные параметры и граничные условия, применительно для климата Москвы, представлены в табл. 1.

Градусо-сутки периода охлаждения рассчитаны по формуле:

$$ГСПО = (t_{\text{н.охл}} - 21) z_{\text{охл}}, \quad (7)$$

где $t_{\text{н.охл}}$ — температура наружного воздуха для охлаждающего периода, усреднённая за сутки, в течение которых среднесуточная температура наружного воздуха превышает 21°C , $^\circ\text{C}$; $z_{\text{охл}}$ — продолжительность охлаждающего периода, сут.

За период с 1991 по 2020 годы в среднем количество суток, в течение которых в Москве температура наружного воздуха превышала 21°C , принятой в качестве базового значения для начала или окончания охлаждающего периода, составило 24, а среднее значение температуры наружного воздуха для них составило $23,2^\circ\text{C}$. При этом сутки со средней температурой 21°C и выше часто не следуют одни за другими. Их максимальное количество приходится на наиболее жаркий месяц года в Москве, то есть на июль. В 1993 году количество суток со средней температурой наружного воздуха, большей или равной 21°C , в Москве ока-

залось равным пяти, в 2010 году — 59 (рис. 4). При этом за весь рассматриваемый 30-летний период имеет место возрастающий тренд.

Здесь следует отметить, что охлаждающий период, вероятно, более корректно оценивать не в градусо-сутках, а в градусо-часах, поскольку в ночное время или во время продолжительных пасмурных дней, сопровождаемых обильным выпадением осадков, необходимость в кондиционировании воздуха в значительной степени снижается, то есть работа систем охлаждения в них осуществляется периодически. Для оценки градусо-часов охлаждающего периода следует выполнить анализ часовых данных изменения температур наружного воздуха в течение летнего периода года, по крайней мере, за последние пять-десять лет и выявить тренды их изменения, как это показано, например, в исследованиях [2, 3] или использовать данные типового климатического года [10], составленного на основании анализа многолетних климатических данных за последние 30 лет.

В то же время для централизованных систем холодоснабжения режим периодического охлаждения помещений может оказаться менее выгодным, так как увеличит прогнозируемые сроки окупаемости инвестиций в установку холодильного оборудования на источниках выработки холода. Для крупных поставщиков энергии

Характерные периоды календарного года для города Москвы*

табл. 1

Период	Температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$	$T_{\text{вн}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{ср}}^{\text{нар}}, ^\circ\text{C}$	Продолжительность, сут.	Градусо-сутки, $^\circ\text{C}\cdot\text{сут.}$
Отопительный*1	$\leq +8$	20	-2,2	204	4529
Переходный*2	(+8; +21)	20	—	137	—
Охлаждающий*3	$\geq +21$	28	23,2	24	52,8

* Периоды года, обеспечивающие комфортные параметры микроклимата в МКД. *1 Продолжительность и средняя температура наружного воздуха приняты по данным табл. 3.1 СП 131.13330.2020 для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха $\leq 8^\circ\text{C}$. *2 В переходный период параметры микроклимата в здании позволяют обеспечивать комфортные условия проживания в многоквартирных домах при неработающих системах отопления и охлаждения. *3 Продолжительность и средняя температура наружного воздуха для охлаждающего периода рассчитаны по фактическим данным температуры наружного воздуха в городе Москве, усреднённым за период с 1991 по 2020 годы [10].

важно понимать величину денежных потоков, достигаемых при реализации крупного инвестиционного проекта.

В этой связи при организации централизованного холодоснабжения целесообразно выделить особые группы зданий:

- жилые, с периодом охлаждения в течение суток $T_{охл} < 24$ ч;

- общественные, время кондиционирования в которых в основном совпадает с продолжительностью рабочего дня (офисные здания) или графиком их работы (торговые центры);

- технологические, с $T_{охл} \approx 24$ ч (ЦОДы, производственные здания со значительными тепловыделениями, крупные складские комплексы и др.).

Приведённые в табл. 1 результаты исследования следует относить к жилым и общественным зданиям. Для зданий, внутренние тепловыделения в которых сопоставимы с иными источниками теплоступлений, следует их учесть в тепловом балансе. Для этого может быть использована в том числе модель (1).

В перспективе ожидается увеличение количества потребителей холода. С развитием информационных технологий в современных офисных зданиях для ряда помещений с высоким уровнем внутренних тепловыделений (узлов связи, мультиплексорных, серверных и др.) становится характерной необходимость потребления холода в течение всего календарного года.

В последнее десятилетие наблюдается экспоненциальный рост генерируемых информационных потоков, в связи с чем набирает популярность новый вид бизнеса — поставка потребителям вычислительной мощности центров обработки данных (ЦОД), которые являются крупными потребителями холода с продолжительным периодом охлаждения. Увеличению потребности в холоде способствует и тенденция повышения степени остеклённости фасадов строящихся зданий, для которых характерно увеличение теплоступлений от солнечной радиации.

Анализ климатических данных показывает, что в большинстве регионов страны наблюдается устойчивый тренд повышения температуры наружного воздуха в тёплый период года

Одним из наиболее перспективных направлений развития систем холодоснабжения является их централизация, которая может быть реализована в том числе на существующих тепловых станциях. Организация производства на тепловых станциях сразу трёх видов энергии — электричества, тепла и холода (тригенерация) — позволит повысить их эффективность за счёт дополнительной загрузки теплогенерирующего оборудования станций в тёплое время года и увеличить выработку электрической энергии на тепловом потреблении.

Заключение

На основании выполненного исследования можно сформулировать следующее:

1. Анализ климатических данных показывает, что в большинстве регионов страны наблюдается устойчивый тренд повышения температуры наружного воздуха в тёплый период года.
2. С возрастанием температур наружного воздуха в летний период года возрастает и потребность населения в холоде.
3. В связи с увеличением мощности телекоммуникационного и информационного оборудования для компенсации внутренних тепловыделений в современных офисных зданиях ожидается увеличение нагрузок холодоснабжения, а также рост числа потенциальных потребителей, использующих холод в течение значительной части календарного года.
4. В настоящее время в России преобладают индивидуальные (децентрализованные) системы холодоснабжения.
5. Наружные блоки индивидуальных кондиционеров, установленные на фасадах или крышах зданий, часто не только

противоречат требованиям действующего законодательства, но и нарушают эстетический вид зданий.

6. В этой связи целесообразным представляется развитие в крупных городах России систем централизованного холодоснабжения, более эффективных и надёжных по сравнению с децентрализованными системами.

7. Системы централизованного холодоснабжения могут быть реализованы в том числе на базе действующих источников тепловой генерации (котельных и ТЭЦ).

8. Производство на существующих тепловых станциях трёх видов энергии — электричества, тепла и холода (тригенерация) — позволит использовать генерирующие мощности круглый год и тем самым повысить их эффективность.

9. Для обеспечения централизованного холодоснабжения по аналогии с существующими параметрами отопительного периода требуется установить продолжительность и градусо-сутки охлаждающего периода.

10. В настоящем исследовании выполнен расчёт продолжительности и параметров охлаждающего периода применительно непосредственно для климатических условий города Москвы.

11. Модель проверена по данным отопительного периода.

12. На основании уравнения теплового баланса определены температура начала/окончания охлаждающего, отопительного и переходного периодов года применительно для климатических условий города Москвы и их продолжительности.

13. Для климатических условий Москвы период охлаждения оказывается существенно меньше отопительного периода. Однако с учётом существующего тренда повышения температуры воздуха в приземном слое Земли потребность в охлаждении воздуха в помещениях в тёплый период года будет увеличиваться, что необходимо учитывать при развитии систем энергоснабжения регионов Российской Федерации. ●

1. Клименко В.В., Клименко А.В., Терешин А.Г., Федотова Е.В. Климатические экстремумы — новый вызов для российских энергосистем // Теплоэнергетика, 2021. №3. С. 3–17.
2. Gorshkov A.S., Vatin N.I., Rymkevich P.P. Climate change and the thermal island effect in the million-plus city. Construction of Unique Buildings and Structures. 2020. Vol. 89. Issue 4.
3. Горшков А.С., Ватин Н.И., Рымкевич П.П. Влияние антропогенных факторов на тепловое загрязнение городской среды // Энергосбережение, 2020. №7. С. 46–51.
4. Дмитриев А.Н., Владимирова И.Л., Васильев Г.П., Силаев Т.А. Экономическое обоснование «зелёного» перехода на централизованное холодоснабжение в проектах многоквартирных домов // Современные проблемы управления проектами в инвестиционно-строительной сфере и природопользовании: Мат.

XIII межд. науч.-практ. конф. (14.04.2023). — М.: РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2023. С. 6–11.

5. Ливчак В.И. Роль показателя градусо-суток охлаждающего периода при расчёте потребности жилых домов в охлаждении // Энергосбережение, 2015. №7. С. 22–26.
6. Лысев В.И., Цыганков А.В., Шилин А.С. Энергопотребление для охлаждения зданий // Вестник МАХ, 2019. №3. С. 38–44.
7. Дворецкий А.Т., Спиридонов А.В., Митрофанова С.А., Денисова Т.В. О необходимости определения градусо-суток периода охлаждения зданий на территории России // Жилищное строительство, 2019. №8. С. 46–49.
8. Cooling Degree Days (CDD) index [Электр. текст]. Eurostat Statistics Explained. Режим доступа: ec.europa.eu. Дата общ.: 15.03.2024.

9. Shanmuga P.S., Premalatha M., Rajkumar S.R., Thirunavukkarasu I. Analysis of cooling degree days for Tiruchirappalli-a district in India. International Journal of Recent Research and Applied Studies (IJRRAS). 2011. Vol. 1. Issue 8. Pp. 44–56.
10. Проведение исследований по оценке последствий изменения климатических воздействий на здания, сооружения, строительные конструкции и материалы и создание актуализированной базы данных климатологического обеспечения московского строительства, в том числе в рамках реализации «Программы реновации жилищного фонда города Москвы»: Науч.-техн. отчёт / Гос. контракт №ДГП-21-25-Р от 15.06.2021; УДК 620.92; № госрегистрации 121071600008-0; инв. №18-3/2022.

References — see page 78.

[Degree-day heating and cooling periods for the climatic conditions of the city of Moscow. Pp. 54–59.](#)

Nikolay V. Varlamov, PhD in Economics, First Deputy General Director of "Gazprom Promgaz" JSC (Moscow region, Vidnoye); **Alexander S. Gorshkov**, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department for the Development of Schemes and Programs for the Development of Energy Supply Systems of "Gazprom Promgaz" JSC; **Andrey E. Zhirnov**, Chief Project Engineer of "Gazprom Promgaz" JSC; **Alexander Yu. Lezer**, PhD in Economics, Director of the Engineering Center of "Gazprom Promgaz" JSC; **Natalia A. Parashchenko**, Head of the Design and Technology Department of "Gazprom Promgaz" JSC

1. V.V. Klimenko, A.V. Klimenko, A.G. Tereshin, E.V. Fedotova. *Klimaticheskie ekstremumy — novyy vyzov dlya Rossijskikh jenergosistem* [Climate extremes — A new challenge for Russian energy systems]. *Teplojenergetika* ["Thermal Energy Industry" Magazine]. 2021. No. 3. Pp. 3–17. [In Russian]
2. A.S. Gorshkov, N.I. Vatin, P.P. Rymkevich. Climate change and the thermal island effect in the million-plus city. Construction of Unique Buildings and Structures. 2020. Vol. 89. Issue 4.
3. A.S. Gorshkov, N.I. Vatin, P.P. Rymkevich. *Vlijanie antropogennykh faktorov na teplovoe zagryaznenie gorodskoj sredy* [Influence of anthropogenic factors on thermal pollution of the urban environment]. *Jenergobezrezhenie* ["Energy saving" Magazine]. 2020. No. 7. Pp. 46–51. [In Russian]
4. A.N. Dmitriev, I.L. Vladimirova, G.P. Vasiliev, T.A. Silaev. *Jekonomicheskoe obosnovanie "zelenogo" perekhoda na tsentralizovannoe kholodosnabzhenie v proektakh mnogokvartirnykh domov* [Economic justification for the green transition to centralized cooling in apartment building projects]. *Sovremennye problemy upravlenija proektami v investitsionno-stroitel'noj sfere i prirodopol'zovanii: Mat. XIII mezhd. nauch.-prakt. konf. (14.04.2023)* [Modern problems of project management in the investment and construction sector and environmental management: Proc. of the XIII International Scientific and Practical Conference. April 14, 2023]. Moscow. RJeU [Plekhanov Russian University of Economics]. 2023. Pp. 6–11. [In Russian]
5. V.I. Livchak. *Rol' pokazatelya graduso-sutok okhladitel'nogo perioda pri raschete potrebnosti zhilykh domov v okhlazhdenii* [The role of the degree-day indicator of the cooling period in calculating the cooling needs of residential buildings]. *Jenergobezrezhenie* ["Energy saving" Magazine]. 2015. No. 7. Pp. 22–26. [In Russian]
6. V.I. Lysev, A.V. Tsygankov, A.S. Shilin. *Jenergopotreblenie dlja okhlazhdenija zdaniy* [Energy consumption for cooling buildings]. *Vestnik MAKh* [Bulletin of the International Academy of Refrigeration]. 2019. No. 3. Pp. 38–44. [In Russian]
7. A.T. Dvoretzky, A.V. Spiridonov, S.A. Mitrofanova, T.V. Denisova. *O neobhodimosti opredelenija graduso-sutok perioda okhlazhdenija zdaniy na territorii Rossii* [On the need to determine the degree-day period of cooling of buildings on the territory of Russia]. *Zhilishnoe stroitel'stvo* ["Housing Construction" Magazine]. 2019. No. 8. Pp. 46–49. [In Russian]
8. Cooling Degree Days (CDD) index. Eurostat Statistics Explained. Web-source: ec.europa.eu. Access date: Mart 15, 2024.
9. P.S. Shanmuga, M. Premalatha, S.R. Rajkumar, I. Thirunavukkarasu. Analysis of cooling degree days for Tiruchirappalli-a district in India. *International Journal of Recent Research and Applied Studies (IJRRAS)*. 2011. Vol. 1. Issue 8. Pp. 44–56.
10. *Provedenie issledovanij po otsenke posledstvij izmenenija klimaticheskikh vozdeystvij na zdaniya, sooruzhenija, stroitel'nye konstruksii i materialy i sozdanie aktualizirovannoj bazy dannykh klimatologicheskogo obespechenija moskovskogo stroitel'stva, v tom chisle v ramkakh realizatsii "Programmy renovatsii zhilishnogo fonda goroda Moskvy": Nauch.-tehn. otchet* [Conducting research to assess the consequences of changing climate impacts on buildings, structures, building structures and materials and creating an updated database of climatological support for Moscow construction, including as part of the implementation of the "Program for the renovation of the housing stock of the Moscow city": A scientific and technical report]. State contract No. DGP-21-25-R of June 15, 2021. [In Russian]