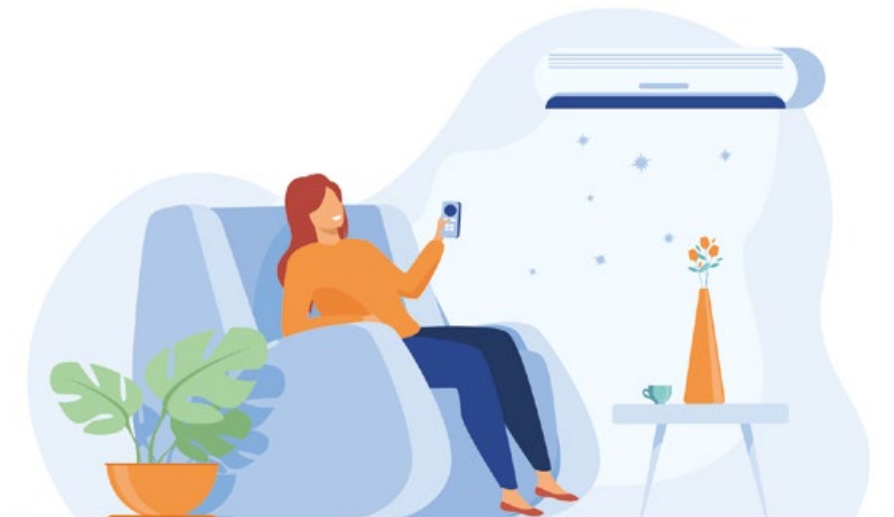




Сравнение расчётов энергопотребления установками кондиционирования воздуха

Рецензия эксперта на статью получена
14.03.2024 [The expert review of the article
was received on Mart 14, 2024]

Вопрос выбора исходной информации, касающейся параметров наружного климата, необходимых для определения установленной мощности и особенно суммарного годового потребления теплоты, холода и других материальных и энергетических ресурсов системами кондиционирования воздуха при обработке притока, является достаточно сложным и до настоящего времени в определённой степени спорным. Различные источники, как в нашей стране, так и за рубежом, предлагают разные решения, как основанные на понятии так называемого «типичного года», например [1], так и использующие различного рода точечные характеристики, соответствующие дискретным событиям [2–4]. При этом авторы работ [5–7] представили вероятностно-статистическую модель наружного климата, которая понимается ими в смысле привлечения результатов наблюдений на метеостанциях с учётом их статистических характеристик и вероятности появления тех или иных значений метеопараметров и их сочетаний. Однако она требует большого объёма исходных данных и, соответственно, значительного количества вычислений всякий раз, когда её приходится применять.

В силу данного обстоятельства автором настоящей работы был предложен другой вариант модели [8, 9], где термин «вероятностно-статистическая» имеет иной смысл, а именно речь идёт о модели, пользующейся методами теории вероятности и математической статистики для установления корреляционных соотношений

Выбор исходной информации, касающейся параметров наружного климата, необходимой для определения установленной мощности и суммарного годового потребления теплоты, холода и других ресурсов системами кондиционирования воздуха при обработке притока, достаточно сложен

между основными параметрами наружного климата. Это даёт возможность существенно сократить количество требуемой начальной информации и получить достаточно простые формулы, пригодные для реализации в условиях практики массового проектирования.

УДК 697.94:551.5. Научная специальность: 2.1.3 (05.23.03).

Сравнение расчётов энергопотребления установками кондиционирования воздуха

О. Д. Самарин, к.т.н., доцент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

Рассмотрено сопоставление двух методов определения суммарного расхода холода на обработку притока, использующих различные варианты вероятностно-статистических моделей наружного климата, в тёплый период года для прямоточных систем кондиционирования воздуха. Для сравнения выбрана существующая модель, включающая полный массив данных по сочетаниям климатических параметров с учётом их относительной повторяемости, и предложенный автором упрощённый вариант, основанный на понятии климатической кривой. Показано, что для выбранных климатических условий и характеристик обслуживаемого помещения и процессов в нём применение обоих методов приводит к сопоставимым результатам при их правильной реализации, в то время как в использованной для сравнения публикации авторов существующей модели содержатся вычислительные ошибки, приводящие к существенному искажению получаемых значений и соответствующих выводов.

Ключевые слова: энергопотребление, климат, температура, относительная влажность, кондиционирование воздуха, вероятностно-статистическая модель, климатическая кривая.

UDC 697.94:551.5. The number of scientific specialty: 2.1.3 (05.23.03).

Comparison of calculations of energy consumption by air conditioning units

O. D. Samarin, PhD, Associate Professor, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NR MSUCE)

The comparison of two methods for determining the total cold consumption for processing the inflow using various variants of probabilistic and statistical models of outdoor climate in the warm season for direct-flow air conditioning systems is considered. For comparison, an existing model is selected, which includes a complete array of data on combinations of climatic parameters, taking into account their relative repeatability, and a simplified version proposed by the author, based on the concept of a climate curve. It is shown that for the selected climatic conditions and characteristics of the serviced room and processes in it, the use of both methods leads to comparable results when they are correctly implemented, while the existing model used for comparison by the authors contains computational errors that lead to a significant distortion of the obtained values and the corresponding conclusions.

Key words: energy consumption, climate, temperature, relative humidity, air conditioning, probabilistic and statistical model, climate curve.

В работе [7] авторами был выполнен расчёт суммарного потребления теплоты, холода, электроэнергии и воды на обработку притока в приточной системе кондиционирования воздуха за отопительный и охлаждающий периоды с целью показать существенные недостатки модели [8, 9], использующей в качестве одного из основных понятие «климатической кривой», то есть линии на $i-d$ -диаграмме, соединяющей точки с наиболее вероятными сочетаниями наружных метеопараметров, которую можно построить по имеющимся климатическим данным, приведённым, например, в [10]. Это позволяет существенно сократить количество исходной информации и дать её аналитическое описание. В результате вычислений авторы [7] определили, что модель [8, 9] даёт значения холодопотребления за тёплый период, заниженные по сравнению с методикой [5–7] в четыре–шесть раз в зависимости от других сопутствующих условий. Однако такое расхождение представляется весьма неправдоподобным, кроме того, предварительные оценки, которые можно дать по теплотратам за отопительный период, поскольку они в целом вычисляются проще, показывают, что в [7] были, по-видимому, допущены вычислительные ошибки. В самом деле, приведённые в [7] значения теплотребления меньше действительных примерно в 20–25 раз, а это может говорить о том, что при расчётах не было произведено умножение на 24 (число часов в сутках).

Поэтому целесообразно провести повторное рассмотрение указанного вопроса. Для сопоставимости с данными, приведёнными в [7], вычисления выполнялись для аналогичных исходных данных, насколько это вообще было возможно



в рассматриваемых условиях. А именно — расход наружного воздуха, подаваемый приточной установкой, был принят равным $G_n = 10\,000$ кг/ч, при этом в тёплый период года было предусмотрено охлаждение притока в поверхностном воздухоохладителе, при необходимости с осушкой и использованием управляемого процесса охлаждения или байпаса.



Кроме того, как и в [7], считалось, что установки работают круглосуточно, хотя и с выходными днями, и были исследованы два случая — для значения тепло-влажностного соотношения в обслуживаемых помещениях $\epsilon_{\text{пом}} = 5000$ кДж/кг (при значительных влаговыведениях) и для $\epsilon_{\text{пом}} = 80\,000$ кДж/кг (при преобладании избытков явной теплоты).

В рабочей зоне помещений предусматривалось поддержание оптимальных параметров в соответствии с ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» для тёплого периода, а именно: температура воздуха $t_v = +24^\circ\text{C}$ и относительная влажность ϕ_v в диапазоне 30–60%. Говоря точнее, для расчётных наружных параметров и близких к ним величина ϕ_v принималась равной наибольшему из оптимальных значений, то есть 60%, с целью максимального сокращения затрат холода на обработку притока. В то же время при снижении влагосодержания наружного воздуха ниже требуемого для такого случая влагосодержания притока d_n , которое определялось по построению на $i-d$ -диаграмме, исходя из t_v , ϕ_v , принятой температуры притока $t_n = t_v - 5 = +19^\circ\text{C}$ (опять-таки как и в [7]) и величины $\epsilon_{\text{пом}}$, и составило 11 г/кг для $\epsilon_{\text{пом}} = 80\,000$ кДж/кг и 9 г/кг для $\epsilon_{\text{пом}} = 5000$ кДж/кг, и считалось, что процесс охлаждения притока становится «сухим». Поэтому тогда точка на диаграмме, соответствующая состоянию приточного воздуха, начинала смещаться влево вслед за наружной, а значит, такое же смещение получал и весь процесс изменения состояния воздуха в помещении с соответствующим уменьшением величины ϕ_v , которая, впрочем, на всём протяжении исследуемого периода, когда наружная температура $t_n > t_n$, оставалась в пределах оптимального диапазона.

Для расчёта суммарного потребления холода по климатической кривой использовалось выражение для связи t_n и энтальпии наружного воздуха I_n [кДж/кг] вдоль данной кривой для климатических условий города Москвы, впервые полученное автором в работе [8] на основе обработки данных по относительной повторяемости сочетаний t_n и относительной влажности наружного воздуха ϕ_n , приведённых в [10]:

$$I_n = 0,118 t_n^2 - 4,02 t_n + 74,8. \quad (1)$$

К сожалению, при публикации [8] в данной формуле была допущена неточность, которая не была окончательно исправлена и в опубликованной впоследствии монографии [9]. Возможно, именно этим обстоятельством объясняется столь существенное расхождение между значениями холодопотребления непосредственно по климатическим данным и по климатической кривой, обнаруженное в [7].



В обоих вариантах, как при использовании непосредственно сочетаний климатических параметров по данным [10], так и с применением соотношения (1), суммарное холодопотребление за летний сезон [кВт·ч] вычислялось как:

$$Q_x^r = \frac{24 \times 66 G_n}{3600} \sum \left(\Delta I_i \frac{r_{отн}}{100} \right), \quad (2)$$

где 24 — число часов в сутках; 66 — число рабочих дней в трёх летних месяцах; ΔI_i — текущая разность энтальпий [кДж/кг] наружного и приточного воздуха с учётом возможного перемещения влево точки притока, как было описано выше; $r_{отн}$ — относительная повторяемость соответствующего диапазона I_n в процентах от продолжительности летнего периода по данным [10]. При этом в случае применения выражения (2), в силу чёткой корреляционной связи t_n и I_n (коэффициент

❖ Суммарное холодопотребление на обработку притока, кВт·ч

табл. 1

$\epsilon_{ном},$ кДж/кг	Методика [8, 9]*	Методика [7]*	Расхождение, %	Методика [8, 9]**	Методика [7]**	Расхождение, раз
80 000	5415	6612	18	197	804	4,1
5000	6062	10 123	40	744	4798	6,5

* Новый расчёт. ** Результаты работы [7].

корреляции 0,975 [8, 9]), значения $r_{отн}$ брались по [10] для соответствующего диапазона t_n , поскольку в этом источнике имеются данные по повторяемости сочетаний именно ϕ_n и t_n , а не I_n , и тогда общая $r_{отн}$ определялась как сумма отдельных значений $r_{отн}$ из [10] для всех ϕ_n при рассматриваемой температуре. При использовании же исходных климатических данных для каждого сочетания ϕ_n и t_n из [10] вычислялось своё значение I_n и принималась отдельная $r_{отн}$. Результаты расчётов приведены в табл. 1.

Нетрудно заметить, что новые расчёты дают сопоставимые результаты, по край-

ней климатической кривой, а именно её соответствующим сдвигом на $i-d$ -диаграмме вправо. Одновременно можно поставить вопрос и о построении такой кривой с заданной обеспеченностью, поскольку при её обычном понимании как линии, соединяющей наиболее вероятные сочетания наружных параметров, такая обеспеченность по определению будет равна 0,5.

Таким образом, мы показали, что использование климатической кривой для расчёта холодопотребления на обработку притока в системах кондиционирования воздуха за тёплый период даёт достаточно верные значения, особенно при малых влаговыведениях в помещении, при условии корректного выполнения вычислений и использования правильного выражения для связи t_n и I_n . При этом рассматриваемая методика имеет достаточно простой и инженерный вид и доступна для использования при массовом проектировании. ●

1. Маливина Е.Г., Маликова О.Ю., Фам В.Л. Метод выбора расчётных температуры и энтальпии наружного воздуха в тёплый период года // АВОК, 2018. №3. С. 60–69.
2. Odineca T., Borodinecs A., Korjakins A., Zajecs D. The impacts of the exterior glazed structures and orientation on the energy consumption of the building. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 290. Issue 1.
3. Belussi L., Barozzi B., Bellazzi A., Danza L., Devotofrancesco A., Fanciulli C., Ghellere M., Guazzi G., Meroni I., Salamone F., Scamoni F., Scrosati Ch. A review of performance of zero energy buildings and energy efficiency solutions. Journal of Building Engineering. 2019. Vol. 25.
4. Zhiwei W., Yao Ch., Man Zh., Jin Wu, Menglu Zh. A clustering method with target supervision for the thermal climate division of residential buildings in the Hot Summer and Cold Winter Area of China. Journal of Building Engineering. 2021. Vol. 43.
5. Malyavina E.G., Malikova O.Yu. Comparison of the completeness of the climate probability-statistic model and the reference year model. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 365. Issue 2.
6. Маливина Е.Г., Маликова О.Ю. Влияние расчётных параметров наружного воздуха на энергетические показатели систем кондиционирования воздуха // Энергосбережение и водоподготовка, 2022. №2. С. 12–16.
7. Маливина Е.Г., Маликова О.Ю. Сравнение исходной климатической информации для расчётов сезонного энергопотребления аппаратами кондиционирования воздуха // Известия вузов. Строительство, 2022. №10. С. 37–45.
8. Самарин О.Д. Вероятностно-статистическая взаимосвязь климатических параметров для оценки энергопотребления здания // Вестник МГСУ, 2014. №1. С. 146–152.
9. Самарин О.Д., Ключко А.К. Численные и приближенные методы в задачах строительной теплофизики и климатологии. — М.: Изд-во МИСИ-МГСУ, 2021. 96 с.
10. Строительная климатология. Справочное пособие к СНиП 23-01-99* / Под ред. В.К. Савина. — М.: НИИСФ РААСН, 2006. 260 с.

References — see page 78.

Comparison of calculations of energy consumption by air conditioning units with different selection of climatic data. Pp. 61–63.

Oleg D. Samarin, PhD, Associate Professor, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NR MSUCE)

1. E.G. Maljavina, O.Ju. Malikova, V.L. Fam. *Metod vybora raschetnykh temperatury i jental'pii naruzhnogo vozdukh v teplyj period goda* [Method for selection of design temperatures and outside air enthalpy during warm period of the year]. AVOK [Journal of the Russian Association of Engineers for Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics (ABOK)]. 2018. No. 3. Pp. 60–69. [In Russian]
2. T. Odineca, A. Borodinecs, A. Korjakins, D. Zajecs. The impacts of the exterior glazed structures and orientation on the energy consumption of the building. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 290. Issue 1.
3. L. Belussi, B. Barozzi, A. Bellazzi, L. Danza, A. Devitofrancesco, C. Fanciulli, M. Ghellere, G. Guazzi, I. Meroni, F. Salamone, F. Scamoni, Ch. Scrosati. A review of performance of zero energy buildings and energy efficiency solutions. Journal of Building Engineering. 2019. Vol. 25.
4. W. Zhiwei, Ch. Yao, Zh. Man, Wu Jin, Zh. Menglu. A clustering method with target supervision for the thermal climate division of residential buildings in the Hot Summer and Cold Winter Area of China. Journal of Building Engineering. 2021. Vol. 43.
5. E.G. Malyavina, O.Yu. Malikova. Comparison of the completeness of the climate probability-statistic model and the reference year model. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 365. Issue 2.
6. E.G. Maljavina, O.Ju. Malikova. *Vlijanie raschetnykh parametrov naruzhnogo vozdukh na jenergeticheskie pokazateli sistem konditsionirovanija vozdukh* [Influence of calculated parameters of outdoor air on the energy performance of air conditioning systems]. *Jenergosberezhenie i vodopodgotovka* ["Energy saving and water treatment" Magazine]. 2022. No. 2. Pp. 12–16. [In Russian]
7. E.G. Maljavina, O.Ju. Malikova. *Sravnenie ishodnoj klimaticheskoy informatsii dlja raschetov sezonnogo jenergotreblenija apparatami konditsionirovanija vozdukh* [Comparison of initial climatic information for calculations of seasonal energy consumption by air conditioning units]. *Izvestija vuzov. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Series: Construction]. 2022. No. 10. Pp. 37–45. [In Russian]
8. O.D. Samarin. *Verojatnostno-statisticheskaja vzaimosvjaz' klimaticheskikh parametrov dlja otsenki jenergotreblenija zdanija* [Probability and statistical correlation of the climatic parameters for estimating energy consumption of a building]. *Vestnik MGSU* [Bulletin of Moscow State University of Civil Engineering]. 2014. No. 1. Pp. 146–152. [In Russian]
9. O.D. Samarin, A.K. Klochko. *Chislennye i priblizhennye metody v zadachakh stroitel'noj teplofiziki i klimatologii* [Numerical and approximate methods in problems of construction thermal physics and climatology]. Moscow. *Izd-vo MISI-MGSU* [Publishing House of Moscow State University of Civil Engineering]. 2021. 96 p. [In Russian]
10. *Stroitel'naja klimatologija. Spravochnoe posobie k SNIp 23-01-99** [Building climatology. Reference manual to Building Rules & Regulations (National Codes and Standards of Russia) No. 23-01-99*]. Edited by V.K. Savin. Moscow. *NIISF* [Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences]. 2006. 260 p. [In Russian]