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

LIFE MAINTENANCE ENGINEERING SYSTEMS OF THE INHABITED LOCALITIES, BUILDINGS AND STRUCTURES. ECOLOGICAL SAFETY OF CONSTRUCTION

Известия вузов. Строительство. 2022. № 10. С. 37–45.
ISSN 0536-1052
News of Higher Educational Institutions. Construction. 2022; (10): 37–45.
ISSN 0536-1052

Научная статья
УДК 697.94:551.5
DOI: 10.32683/0536-1052-2022-766-10-37-45

СРАВНЕНИЕ ИСХОДНОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ РАСЧЕТОВ СЕЗОННОГО ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ АППАРАТАМИ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Елена Георгиевна Малявина, Ольга Юрьевна Маликова
Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),
Москва, Россия

Аннотация. Для расчета сезонных энергозатрат на обработку в установках кондиционирования воздуха исходная климатическая информация должна содержать данные о распределении во времени температуры и влажности наружного воздуха. В статье выполнено сравнение полноты охвата параметров наружного воздуха для района строительства г. Москва в двух климатических моделях; вероятностно-статистической и климатической кривой. Приведено сравнение повторяемостей температуры и относительной влажности наружного воздуха для двух упомянутых моделей, а также для вероятностно-статистической модели, построенной на данных разных лет. Кроме того, дано сравнение потребления теплоты, воды и электроэнергии, полученных при помощи рассматриваемых моделей за три летних месяца.

Ключевые слова: сочетание параметров наружного воздуха, повторяемость, вероятностно-статистическая модель, климатическая кривая, энергозатраты

Для цитирования: Малявина Е.Г., Маликова О.Ю. Сравнение исходной климатической информации для расчетов сезонного энергопотребления аппаратами кондиционирования воздуха // Известия вузов. Строительство. 2022. № 10. С. 37–45. DOI: 10.32683/0536-1052-2022-766-10-37-45.

© **Малявина Е.Г., Маликова О.Ю., 2022**

Original article

COMPARISON OF INITIAL CLIMATIC INFORMATION FOR CALCULATIONS OF SEASONAL ENERGY CONSUMPTION BY AIR CONDITIONING UNITS

Elena G. Malyavina, Olga Yu. Malikova
Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia

Abstract. In order to calculate seasonal energy consumption for processing in air conditioning units, the initial climatic information shall contain data on the distribution of outdoor air temperature and humidity over time. The article compares the completeness of the coverage of outdoor air parameters for the Moscow construction area in two climatic models: probabilistic-statistical and climatic curve. The article provides a comparison in the repeatability of the temperature and relative humidity of the outside air for the two mentioned models, as well as for the probabilistic-statistical model built on data from different years. In addition, a comparison of the consumption of heat, water and electricity obtained using the models under consideration for the three summer months is given.

Keywords: combination of outdoor air parameters, repeatability, probabilistic-statistical model, climatic curve, energy consumption

For citation: Malyavina E.G., Malikova O.Yu. Comparison of initial climatic information for calculations of seasonal energy consumption by air conditioning units. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2022; (10): 37–45. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2022-766-10-37-45.

Введение. Энергопотребление системами поддержания теплового микроклимата в помещениях, которое может быть рассчитано только по данным о вероятностном распределении параметров наружного климата в районе строительства, играет важную роль при оценке достаточности энергоресурсов для народного хозяйства [1]. Правильный учет распределения во времени параметров наружной среды, например, для строительства АЭС, крайне важен [2]. При занижении их значений «необеспечение системами СКВ заданных параметров в помещениях основных зданий АЭС может привести к отказу технологического оборудования и, как следствие, к нарушениям нормальной эксплуатации АЭС (прекращение выработки электроэнергии, нарушение безопасной эксплуатации энергетической установки)». Применение завышенных значений климатических параметров также может вызвать серьезные проблемы, так как может нарушиться работа систем в режимах низкого потребления холода. В основном это связано с автоматическим отключением систем.

Точность оценки сезонного энергопотребления установками кондиционирования воздуха в помещениях зависит от принятой климатической модели в качестве исходной информации. Нельзя ожидать большой точности от результатов расчета, построенных только на распределении во времени температуры наружного воздуха [3] без учета распределения влажности наружного воздуха во времени. К таким же выводам приходят и за рубежом [4–7].

Для расчетов безынерционных процессов обработки воздуха в аппаратах кондиционирования воздуха была разработана вероятностно-статисти-

ческая модель климата [8]. Она изначально предназначена для расчетов потребления энергии кондиционером при обработке приточного воздуха. Содержащиеся в ней данные о сочетании температуры и относительной влажности наружного воздуха приведены без указания времени суток, в которое они наблюдались. Вероятностно-статистическая модель аккумулирует в себе все сочетания тепловлажностных параметров за число лет, принятых к рассмотрению [9]. Как и каждая целенаправленная модель, вероятностно-статистическая приводит к более точным результатам для класса задач, для которых предназначена, чем любая универсальная, что будет показано ниже.

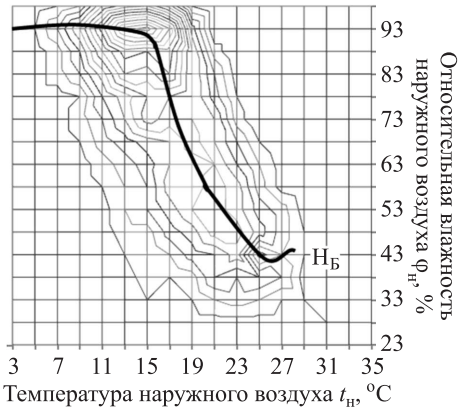

Диаграмма $t_н$ – $\varphi_н$ и климатическая кривая для Москвы в теплый период года

Diagram t_e – φ_e and climatic curve for Moscow in the warm period of the year

Желание отдельных авторов сократить объем исходной информации до возможного минимума вполне понятно. С этой целью пропагандируются исходные модели в виде климатической кривой [10, 11]. Климатическая кривая Зотова была предложена в 40-е гг. XX столетия. Она была прогрессивным шагом в обеспечении проектирования систем кондиционирования воздуха (СКВ) климатической информацией, дающей представление о повторяемости сочетаний температуры и относительной влажности наружного воздуха в течение года. Кривая проводилась через точки наиболее вероятных сочетаний указанных параметров. На рисунке приведена климатическая кривая для теплого периода в Москве по данным строительной климатологии[1]. На рисунке точка $Н_Б$ – состояние наружного воздуха, соответствующее параметрам «Б» по данным СНиП 23-01.

Обращает на себя внимание, что при этом построении происходит сжатие информации: поле вероятностей сочетаний параметров наружного воздуха уплотнено и спрессовано до линии. Климатическая исходная информация сократилась, но расчеты энергопотребления системой кондиционирования все равно приходится проводить на компьютере. Особого распространения кривая не получила, так как почерпнуть исходные данные с метеостанций для проектировщиков было практически невозможно. Кроме того, следует понимать, что любое сжатие информации связано с исключением из рассмотрения ее части, которая может привести к потере точности в оценке результата.

Цели и задачи. Цель – выявить полноту охвата параметров наружного воздуха и точность расчетов по предоставляемой климатической информации вероятностно-статистической моделью и климатической кривой.

[1] Строительная климатология: Справ. пособие к СНиП 23-01–99* / под ред. В.К. Савина. М.: НИИСФ, 2006. 250 с.

Таблица 1. **Повторяемость относительной влажности наружного воздуха в течение трех летних месяцев, %, от общей продолжительности лета**

Table 1. **The repeatability of the relative humidity of the outdoor air during the three summer months, %, of the total duration of summer**

Показатель	Диапазоны относительной влажности, %																
	10–15	15–20	20–25	25–30	30–35	35–40	40–45	45–50	50–55	55–60	60–65	65–70	70–75	75–80	80–85	85–90	90–95	95–100
Климатическая кривая	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,0	8,5	7,8	10,8	0,0	12,8	0,0	0,0	15,9	0,0	0,0	43,7	0,0
Данные ВДНХ [8]	0,0	0,0	0,2	0,9	2,3	3,9	5,0	6,6	6,9	6,5	6,2	6,5	7,3	7,2	9,6	10,5	14,1	6,3
Данные МГУ 1966–1980 гг.	0,009	0,027	0,199	0,815	2,310	3,904	5,018	6,495	7,047	6,522	6,232	6,522	7,228	7,346	9,357	10,426	14,076	6,467
Данные МГУ 1980–2010 гг.	0,0	0,005	0,023	0,174	0,701	1,923	3,777	5,668	6,268	7,225	7,184	7,509	7,312	7,857	9,208	11,016	14,377	9,771

Задачи: 1. Сравнить повторяемость температуры и относительной влажности наружного воздуха в течение трех летних месяцев, %, от общей продолжительности лета в вероятностно-статистической модели и климатической кривой.

2. Сравнить повторяемость температуры и относительной влажности наружного воздуха в течение трех летних месяцев, %, от общей продолжительности лета в вероятностно-статистических моделях, построенных для одной метеорологической станции, но для разных лет.

3. Оценить энергозатраты аппаратами кондиционирования воздуха, полученные на разных моделях климата.

Интерес специалистов по вентиляции и кондиционированию воздуха к распределению сочетаний параметров воздуха во времени не пропал. Разработкой климатических моделей занималось довольно много исследователей. После оцифровки данных метеостанций такие статистические данные стали появляться в печати. Одним из таких источников является справочное пособие[1]. В нем для 15 городов РФ приведены сочетания температуры и относительной влажности наружного воздуха трех летних и трех зимних месяцев за 1966–1980 гг. При этом принят шаг ячейки по температуре 2 °С, а по относительной влажности 5 %. Эти данные отражают повторяемость сочетаний параметров наружного воздуха за круглые сутки.

Было решено сравнить суммарные годовые доли времени наблюдения отдельных параметров наружного воздуха в течение трех летних месяцев в четырех климатических моделях: климатической кривой; исходной модели [10], построенной на замерах на метеостанции ВДНХ; в климатической модели, построенной на замерах на метеостанции МГУ в те же 1966–1980 и 1980–2010 гг. По данным табл. 1 климатическая кривая дает хорошее сов-

падение долей времени наблюдения температуры наружного воздуха в отдельных диапазонах с полной моделью, которая была сжата. Заметные расхождения наблюдаются между моделями, относящимися к 1966–1980 и 1980–2010 гг. Эти расхождения объясняются более теплой погодой в 1980–2010 гг. Распределение значений температуры в моделях, построенных по данным различных метеостанций, относящимся к одним и тем же годам, очень мало отличаются друг от друга.

Что касается распределения долей времени наблюдения относительной влажности, то по табл. 1 видно, что разброс между повторяемостями этих долей в кривой и в поле значений велик. В то же время данные различных станций, относящиеся к одному и тому же времени, практически совпадают. Замеры на метеостанции, относящиеся к различному времени, свидетельствуют о том, что в 1980–2010 гг. погода была не только более теплая, но и более влажная, чем в 1966–1980 гг.

Результаты чисто визуального сравнения повторяемости параметров наружного воздуха не могут считаться исчерпывающими, поэтому были выполнены расчеты потребления теплоты и холода установкой кондиционирования воздуха. Для сравнения были рассчитаны затраты теплоты, воды и холода за три летних месяца.

Рассматривались помещения с тепловлажностным отношением изменения состояния воздуха в помещении равным соответственно $\varepsilon = 5\,000$ кДж/кг (т.е. с высокими влаговыделениями) и $\varepsilon = 80\,000$ кДж/кг (т.е. преимущественно с теплопоступлениями). Расчеты предприняты для круглосуточной работы в течение лета без выходных – 1584 рабочих часа. В помещениях поддерживались оптимальные условия: температура внутреннего воздуха 20–25 °С, относительная влажность ограничивалась диапазоном 30–60 %. Это подходит для помещения категории 3а: помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении сидя без уличной одежды (театры и кинотеатры круглосуточно без выходных работать могут), и помещения 5-й категории: помещения, в которых люди находятся в полураздетом виде (раздевалки, процедурные кабинеты, кабинеты врачей и т.п.), например, частные медцентры.

Расход наружного воздуха для всех установок принят одинаковым и равным 10000 кг/ч. Расчеты выполнялись для вариантов рабочей разности температуры внутреннего и приточного воздуха равной 5 °С. Температура холодной воды в воздухоохладителе 7–12 °С.

Принята схема СКВ с первым подогревом и адиабатным процессом в блоке увлажнения, оборудованном обводом воздуха (байпасом) в холодный период года и управляемым процессом охлаждения в поверхностном воздухоохладителе в теплый период года, в дальнейшем с байпасом. По результатам увлажнения воздуха и, следовательно, по затратам энергии эта система идентична ЦСКВ с управляемым процессом увлажнения воздуха. Характеристики аппаратов обработки воздуха взяты из реальных проектов кондиционирования воздуха, в которых они определялись по расчетным параметрам наружного воздуха для холодного и теплого периодов года.

В течение лета в зависимости от сочетаний температуры и относительной влажности наружного воздуха в установке работают различные аппараты.

Таблица 2. **Оценка энергозатрат установкой кондиционирования воздуха, полученных на разных моделях климата**

Table 2. **Estimation of energy consumption by an air conditioning unit obtained on different climate models**

Погодная зона	Расход теплоты, кВт · ч	Потребляемая электро-энергия насосом воздухо-нагревателя, кВт · ч	Расход воды, кг	Потребляемая электро-энергия насосом увлажнителя, кВт · ч	Расход холода, кВт · ч	Потребляемая электро-энергия компрессо-ром, кВт · ч	Работа в погодной зоне, ч
Климатическая кривая, ε = 5 000 кДж/кг							
1	–	–	–	–	–	–	–
2			2750,5	14,2			202,8
3	12675,6	155,8					944,1
4							373,8
5					744,3	39,3	63,4
6	–	–	–	–	–	–	–
Итого	12675,6	155,8	2750,5	14,2	744,3	39,3	1584
Климатическая кривая, ε = 80 000 кДж/кг							
1	121,8	0,5	9,8	0,2			3,2
2			3905,6	17,0			242,4
3	7599,6	113,7					689,0
4							625,7
5					197,0	10,4	23,8
6	–	–	–	–	–	–	–
Итого	7721,4	114,2	3915,4	17,2	197,0	10,4	1584
Данные [8], ε = 5 000 кДж/кг							
1	–	–	–	–	–	–	–
2			2146,0	10,3			147,3
3	10245,0	146,9					890,1
4							270,9
5					1090,0	57,6	88,7
6	3140,6	30,8			3707,9	195,8	187,0
Итого	13385,5	177,7	2146,0	10,3	4797,9	253,4	1584
Данные [8], ε = 80 000 кДж/кг							
1	698,7	6,8	263,7	2,9			41,2
2			3746,4	16,2			231,3
3	7445,6	136,2					825,3
4							396,0
5					579,4	30,6	66,5
6	233,4	3,9			224,8	11,9	23,8
Итого	8377,6	146,9	4010,1	19,1	804,2	42,5	1584

Для внесения конкретики обозначим соответствие между номерами погодных зон сочетаний наружных параметров и работающими при этом аппаратами: 1 – воздухонагреватель, камера адиабатного увлажнения, линия байпаса; 2 – камера адиабатного увлажнения, линия байпаса; 3 – воздухонагреватель; 4 – без обработки; 5 – воздухоохладитель; 6 – воздухонагреватель предподогрева, воздухоохладитель.

В табл. 2 приведены расходы энергии и воды, полученные расчетом на модели климата в виде климатической кривой и в виде вероятностно-статистического поля сочетаний температуры и относительной влажности, которые разработаны на одном и том же климатическом материале 1966–1980 гг.

Табл. 2 показывает, что расхождения в расходе теплоты, электроэнергии на привод насоса воздухонагревателя и воды, на расход которых влияет в основном температура наружного воздуха, лежат в пределах 10 %. Близость результатов объяснима тем, что, как сказано выше, описание климатической кривой повторяемостей температуры наружного воздуха осуществлено довольно близко к данным [8]. В то же время описание повторяемостей относительной влажности в упомянутых двух моделях имеет существенные расхождения. Поэтому расходы холода и электроэнергии, затрачиваемой на его выработку, различаются значительно. Число часов работы установки в каждой погодной зоне тоже не совпадает.

Выводы. 1. В качестве исходной климатической информации для расчетов энергопотребления системой кондиционирования воздуха более приемлема вероятностно-статистическая модель климата, которая соответствует безынерционному процессу обработки воздуха в аппаратах установки. Она охватывает все имевшие место сочетания температуры и относительной влажности наружного воздуха за принятый к рассмотрению период лет, т.е. достаточно подробно описывает климатические данные. Кроме того, модель может быть составлена для отрезка времени суток, совпадающего по времени с рабочим днем установки.

2. Климатическая кривая в качестве исходной климатической информации в настоящее время несостоятельна. Во-первых, для ее построения приходится использовать статистическое поле сочетаний температуры и относительной влажности наружного воздуха, во-вторых, оценка расходов холода по данным ее показателей приводит к занижению результата в 5 раз. Так как расчеты энергопотребления установкой кондиционирования воздуха придется выполнять на ПК, то исходная информация в виде статистического поля предпочтительнее.

Список источников

1. *Горшков А.С., Рымкевич П.П., Романова А.А.* Влияние климата на энергопотребление зданий. Мониторинг данных СП «Строительная климатология» // Энергосбережение. 2017. № 3. С. 16–21.
2. *Сынков И.В., Гоголев Н.А., Прусова Ж.В.* Особенности выбора климатических параметров при проектировании систем холодоснабжения СКВ // АВОК. 2016. № 3. С. 64–71.
3. *Лысёв В.И., Цыганков А.В., Шилин А.С.* Энергопотребление для охлаждения зданий // Вестник Международной академии холода. 2019. № 3. С. 38–44.

4. *Zhiwei Wang, Yao Chen, Man Zhou, Jin Wu, Menglu Zhang.* 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. 103156.
5. *Sandro F. Veiga, Huiling Yuan.* The response of the East Asian summer rainfall to more extreme El Niño events in future climate scenarios // Atmospheric Research. 2022. Vol. 268. 105983.
6. *Arlindo Meque, Sunshine Gamedze, Thembani Moitlhobogi, Prithiviraj Booneeady, Sydney Samuel, Letlhogonolo Mpalang.* Numerical weather prediction and climate modelling Challenges and opportunities for improving climate services delivery in Southern Africa // Climate Services. 2021. Vol. 23. 100243.
7. *Qing-Yuan Wu, Qing-Quan Li, Yi-Hui Ding, Xin-Yong Shen, Meng-Chu Zhao, Yu-Xiang Zhu*. Asian summer monsoon responses to the change of land–sea thermodynamic contrast in a warming climate: CMIP6 projections // Journal of Building Engineering. 2021. Vol. 33. 101870.
8. *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, Iss. 2. 022009.
9. *Малявина Е.Г., Маликова О.Ю.* Влияние расчетных параметров наружного воздуха на энергетические показатели систем кондиционирования воздуха // Энергосбережение и водоподготовка. 2022. № 2. С. 12–16.
10. *Самарин О.Д., Матвеева Е.Г.* Определение параметров охладительного периода // СОК. 2013. № 1. С. 120–122.
11. *Самарин О.Д.* Вероятностно-статистическое моделирование годового хода температуры наружного воздуха и ее значений в теплый период // Вестник МГСУ. 2018. № 3. С. 378–384.

References

1. *Gorshkov A.S., Rymkevich P.P., Romanova A.A.* Influence of climate on the energy consumption of buildings. Data monitoring of the joint venture “Construction climatology”. *Energosberezheniye = Energy saving*. 2017; (3): 16–21. (In Russ.).
2. *Synkov I.V., Gogolev N.A., Prusova Zh.V.* Features of the choice of climatic parameters in the design of refrigeration systems for ACS. *AVOK = Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics.* 2016; (3): 64–71. (In Russ.).
3. *Lysev V.I., Tsygankov A.V., Shilin A.S.* Energy consumption for cooling buildings. *Vestnik Mezhdunarodnoy akademii kholoda = Bulletin of the International Academy of Cold.* 2019; (3): 38–44. (In Russ.).
4. *Zhiwei Wang, Yao Chen, Man Zhou, Jin Wu, Menglu Zhang.* 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; (43): 103156.
5. *Sandro F. Veiga, Huiling Yuan.* The response of the East Asian summer rainfall to more extreme El Niño events in future climate scenarios. *Atmospheric Research*. 2022; (268): 105983.
6. *Arlindo Meque, Sunshine Gamedze, Thembani Moitlhobogi, Prithiviraj Booneeady, Sydney Samuel, Letlhogonolo Mpalang.* Numerical weather prediction and climate modelling Challenges and opportunities for improving climate services delivery in Southern Africa. *Climate Services*. 2021; (23): 100243.
7. *Qing-Yuan Wu, Qing-Quan Li, Yi-Hui Ding, Xin-Yong Shen, Meng-Chu Zhao, Yu-Xiang Zhu*. Asian summer monsoon responses to the change of land–sea thermodynamic contrast in a warming climate: CMIP6 projections. *Journal of Building Engineering*. 2021; (33): 101870.

8. *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; 365 (2): 022009.
9. *Malyavina E.G., Malikova O.Yu.* Influence of calculated parameters of outdoor air on the energy performance of air conditioning systems. *Energosberezheniye i vodopodgotovka = Energy saving and water treatment.* 2022; (2): 12–16. (In Russ.).
10. *Samarin O.D., Matveeva E.G.* Determining the parameters of the cooling period. *SOK = Plumbing, Heating and Air Conditioning.* 2013; (1): 120–122. (In Russ.).
11. *Samarin O.D.* Probabilistic-statistical modeling of the annual variation of the outdoor temperature and its values during the warm period. *Vestnik MGSU = Bulletin of MGSU.* 2018; (3): 378–384. (In Russ.).

Информация об авторах

Е.Г. Малявина – кандидат технических наук, профессор, emal@list.ru
О.Ю. Маликова – кандидат технических наук, доцент, KryuchkovaOU@mgsu.ru

Information about the authors

E.G. Malyavina – PhD, Professor, emal@list.ru
O.Yu. Malikova – PhD, Ass. Professor, KryuchkovaOU@mgsu.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 20.08.2022
Одобрена после рецензирования 20.09.2022
Принята к публикации 27.09.2022

The article was submitted 20.08.2022
Approved after reviewing 20.09.2022
Accepted for publication 27.09.2022