

УДК 628.8+697.9

## Требования к информации о климате для целей проектирования систем кондиционирования

Канд. техн. наук Н. В. КОЧЕНКОВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук Н. В. КРУПЕНЕНКОВ,  
А. С. С. САЛМАН<sup>2</sup>, Т. С. АНТОНОВА<sup>3</sup>

<sup>1</sup>kochenkov63@mail.ru, <sup>2</sup>ahsalman1976@gmail.com, <sup>3</sup>taniant@mail.ru

Университет ИТМО

*Проанализированы недостатки формы представления информации о климате, которая используется в настоящее время в целях проектирования систем кондиционирования. Дан анализ этих недостатков. Показано, что нормативная информация о климате, приведенная в СП 131.13330.2012 (СНиП 23-01-99\*) «Строительная климатология» в виде расчетных параметров А и Б для теплого и холодного периода года не пригодна для этих целей. Сформулированы требования к форме представления информации и к ее содержанию. Проанализированы формы представления информации о климате, близкие к предлагаемой к использованию форме. Информация представлена в виде таблиц: температура — относительная влажность; температура — энтальпия; температуры по сухому и мокрому термометрам. Показано, что информация в виде указанных таблиц может использоваться для решения обозначенных в статье задач, решаемых на начальном этапе проектирования. Продемонстрированы результаты апробации рассматриваемой формы информации о климате при решении практических задач. Среди этих результатов особое внимание уделено зависимости установочных производительностей подсистем от времени необеспеченности нормируемых параметров воздушной среды в помещении. Также на примере показано, что информация о потребляемых расходах холода, теплоты, воздуха и воды при тепловлажностной обработке воздуха в системах кондиционирования может определяться за различные расчетные периоды времени: за год в целом, за сезоны года, по месяцам, а также за смены (восьми часовые) указанных периодов. Эти результаты получены при использовании прикладной компьютерной программы, реализующей рекомендуемую форму представления информации о климате для целей проектирования систем кондиционирования воздуха.*

**Ключевые слова:** система кондиционирования, информация о климате, установочная производительность подсистем, расходы холода, теплоты, воздуха и воды, *t-d*-таблица, элементарные площадки климата, энергосберегающие режимы, расчетный период времени, *I-d*-диаграмма влажного воздуха.

### Информация о статье:

Поступила в редакцию 02.07.2019, принята к печати 11.09.2019

DOI: 10.17586/1606-4313-2019-18-4-15-25

Язык статьи — русский

### Для цитирования:

Коченков Н. В., Крупененков Н. В., Салман А. С. С., Антонова Т. С. Требования к информации о климате для целей проектирования систем кондиционирования // Вестник Международной академии холода. 2019. № 4. С. 15–25.

## Requirements for climate information in designing air conditioning systems

Ph. D. N. V. KOCHENKOV<sup>1</sup>, Ph. D. N. F. KRUPENENKOV, A. S. S. SALMAN<sup>2</sup>, T. S. ANTONOVA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>kochenkov63@mail.ru, <sup>2</sup>ahsalman1976@gmail.com, <sup>3</sup>taniant@mail.ru

*The article analyzes the shortcomings of the climate information presentation form, which is currently used for the designing air conditioning systems. An analysis of these shortcomings is made. It is shown that the regulatory climate information provided in SNiP 23-01-99 (Construction climatology in the form of design parameters A and B for the warm and cold period of the year) is not suitable for these purposes. The requirements for the form of information presentation and its content are formulated. Analyzing the presentation of climate information is close to the proposed use of the form. This information is in the form of tables: temperature — relative humidity; temperature — enthalpy; temperature by dry and wet thermometers. It is shown that information in the form of the specified tables can be used to solve the tasks outlined in this article, which are solved at the initial design stage. The results of approbation for the considered form of climate information in solving practical problems are demonstrated. Among these results, special attention is paid to the dependence of the installation capacity of the subsystems on the time of lack of standardized parameters of the air environment in the room. The example also shows that information on the consumption of cold, heat, air, and water during heat and moisture treatment of air in air conditioning systems can be determined for different estimated periods of time: for the year as a whole, for the seasons of the year, by months, and also for shifts (eight hours) of periods specified. These results were obtained using a computer program that implements the recommended form of presenting information about climate for designing air conditioning systems.*

**Keywords:** air conditioning system, climate information, subsystem installation performance, operating costs, *t-d*-table, elementary climate platforms, energy-saving modes, estimated time period, *I-d*-diagram of humid air.

**Article info:**

Received 02/07/2019, accepted 11/09/2019

DOI: 10.17586/1606-4313-2019-18-4-15-25

Article in Russian

**For citation:**

Kochenkov N. V., Krupenenkov N. F., Salman A. S. S., Antonova T. S. Requirements for climate information in designing air conditioning systems. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2019. No 4. p. 15–25.

**Введение**

Метод энергосберегающих режимов функционирования систем кондиционирования воздуха (СКВ), разработанный профессором А. А. Рымкевичем [1] и реализованный в виде соответствующего программного обеспечения позволяет на этапе эксплуатации системы организовать энергоэффективное управление ее функционированием [2]. Информация о климате для этого этапа жизненного цикла системы используется в реальном масштабе времени и основывается на фактических замерах термодинамических параметров наружного воздуха.

Для реализации метода энергосберегающих режимов, на начальном этапе эскизного проектирования [3] необходима информация о климате, основанная на статистических данных за длительный период времени, включающая в себя характеристику климатических районов по сочетаниям климатических факторов: информацию о продолжительности (не непрерывной) сочетания температуры наружного воздуха с определенным ее интервалом и второго термодинамического параметра наружного воздуха (например, относительной влажности, энтальпии, температуры по мокрому термометру, влагосодержания) также с определенным его интервалом за год.

Нормативная информация о климате, представленная в виде расчетных параметров А и Б для теплого и холодного периода года в таблице «Климатические параметры для проектирования отопления, вентиляции и кондиционирования» [4], а также в виде параметров наружного воздуха для переходных условий года [5] не удовлетворяет современным требованиям, предъявляемым к такой информации, и не обеспечивает решение рассматриваемых ниже трех задач, связанных, в конечном итоге, с возможностью реализации энергоэффективного управления функционированием СКВ.

Целью проводимого исследования является обоснование требований к содержанию информации о климате для начального этапа проектирования, исходя из задачи обеспечения возможности организации энергоэффективного управления функционированием СКВ, а также рассмотрение формы представления такой информации и демонстрация результатов ее апробации.

**Требования к информации о климате**

Первая из задач, требующая для своего решения информации о климате, связана с обоснованием энергоэффективной технологии тепловлажностной обработки воздуха в СКВ. Решение этой задачи рассматривалось в [6]. Применительно к помещениям с разнохарактерными нагрузками в них подход к решению этой задачи изложен в [7]. Обоснованный выбор технологической схе-

мы тепловлажностной обработки воздуха в СКВ на начальном этапе проектирования является основой для организации в дальнейшем (на этапе эксплуатации) энергоэффективного функционирования системы.

Информация о климате необходима также для решения задачи, связанной с определением установочной производительности подсистем СКВ. В общем случае таковыми являются подсистемы нагрева, охлаждения, увлажнения, первой и второй рециркуляции [8]. При обоснованном значении установочной производительности оборудования подсистем СКВ значение  $t_{необ}$  не должно превышать его допустимого значения  $t_{необ}^{доп}$ . Под  $t_{необ}^{доп}$  понимается непрерывное время нарушения параметров воздуха в помещении. Принимается это значение с учетом особенностей назначения помещения.

Отсутствие в работе [4] данных по необеспеченности для значений расчетных энтальпий наружного воздуха не позволяет установить взаимосвязь между временем необеспеченности  $t_{необ}$  нормируемых параметров воздуха в помещении и установочными производительностями подсистем СКВ. Кроме того, для расчета установочных производительностей подсистемы увлажнения, подсистем первой и второй рециркуляции воздуха необходимая информация о климате в [4] отсутствует вовсе.

Третья задача, которая должна рассматриваться на начальном этапе проектирования, и требующая для своего решения наличие информации о климате, заключается в оценке потребляемых в СКВ расходов теплоты, холода, воздуха и воды за принятый расчетный период времени функционирования системы. В работе [1] эти расходы ресурсов названы технологическими параметрами (ТП). При этом в качестве такового периода может быть принят не только год, но также и другие расчетные периоды года, например, месяц, сезон, смена суток (смена за месяц, за сезон, за год). Для решения этой задачи информация о климате должна включать в себя данные по климату полностью за рассматриваемый расчетный период времени, а не ограничиваться сведениями только о расчетных параметрах для теплого и холодного периодов года.

Приводимая в [4] информация о средних месячных температурах воздуха и парциальных давлениях водяного пара, из-за отсутствия корреляционных связей между этими параметрами, не позволяет определять расходы теплоты, холода, воздуха и воды за принятый расчетный период времени.

Таким образом, нормативная информация о климате, представленная в [4], не обеспечивает решение указанных выше трех задач. Для их решения требуется информация, включающая в себя характеристику климатических районов по сочетаниям климатических факторов. Такая информация представлена в работе [9] в виде  $t$ - $f$ -таблиц, где приведены данные о продолжительности

(не непрерывной) сочетания температуры с интервалом  $\Delta t$  равным 5 °С и интервалом по относительной влажности  $\Delta \varphi$  равным 5% за год по четырехсрочным наблюдениям для ряда городов. В работе [10]  $t$ - $\varphi$ -таблицы представлены с меньшими размерами элементарных площадок по температуре ( $\Delta t = 2$  °С) и, кроме того, в отличие от [9] значения повторяемости сочетаний температуры и относительной влажности воздуха приведены не только за год, но и по месяцам.

Информация о климате в виде  $t$ - $\varphi$ -таблиц в целом позволяет решать указанные выше задачи. Однако такая форма представления информации о климате имеет ряд существенных недостатков.

Во-первых, для объектов, функционирующих в сменном режиме (например, только в ночное время суток) или круглосуточно, но с различными тепловлажностными нагрузками в пределах каждой смены, информации о климате в виде  $t$ - $\varphi$ -таблиц за месяц (сезон, год) недостаточно. Для таких объектов требуется информация о климате по сменам месяца (сменам сезона, года). Информация о климате в виде  $t$ - $\varphi$ -таблиц может использоваться также для различных временных отрезков суток за год в целом и по каждому месяцу отдельно [11].

Во-вторых, присутствие относительной влажности  $\varphi$  в информации о климате является крайне нежелательным из-за зависимости этого показателя от барометрического (атмосферного) давления. Кроме того, из-за особенностей расположения изолиний  $\varphi = \text{const}$  на  $I$ - $d$ -диаграмме влажного воздуха, размеры элементарных площадок климата сильно различаются по размерам для теплого и холодного периодов года. Так, на рис. 1 для примера показаны две такие площадки:  $t = 0 - 5$  °С,  $\varphi = 30 - 35\%$  — для холодного периода и  $t = 30 - 35$  °С,  $\varphi = 30 - 35\%$  — для теплого периода [9]. В работах [12, 13] нормируемые параметры в помещении задаются в виде  $t$ - $d$ -области и параметр  $\varphi$  не используется.

Из рис. 1 наглядно видно, насколько существенно различаются размеры элементарных площадок климата на  $I$ - $d$ -диаграмме, а, следовательно, и суммарная повторяемость сочетаний температуры и относительной влажности воздуха.

### Информация о климате в виде $t$ - $d$ -таблиц

Устранить отмеченные выше недостатки в представлении информации о климате позволяет форма, предложенная в [1] в виде  $t$ - $d$ -таблиц и реализованная в прикладном компьютерном варианте [6]. Суть ее сводится к следующему.

В качестве исходных расчетных периодов времени, за которые представляется информация о климате, приняты в зависимости от времени суток три смены месяца, именно: с 8.00 до 16.00 ч — I-я смена; с 16.00 до 24.00 ч — II-я смена; с 0.00 до 8.00 ч — III-я смена. В работе [14] сутки делятся на восемь периодов с интервалом по времени три часа (срочные замеры): с 00.0 до 3.00; с 3.00 до 6.00; с 6.00 до 9.00; с 21.00 до 24.00. В предлагаемой форме представления информации о климате результаты срочных замеров уже обработаны и представлены по трем сменам за сутки: с 0.00 до 8.00 ч; с 8.00 до 16 ч; с 16.00 до 24 ч. Эта работа была проделана сотрудниками ГГО им. А. И. Воейкова — Кобышевой Н. В. и Ключевой М. В.

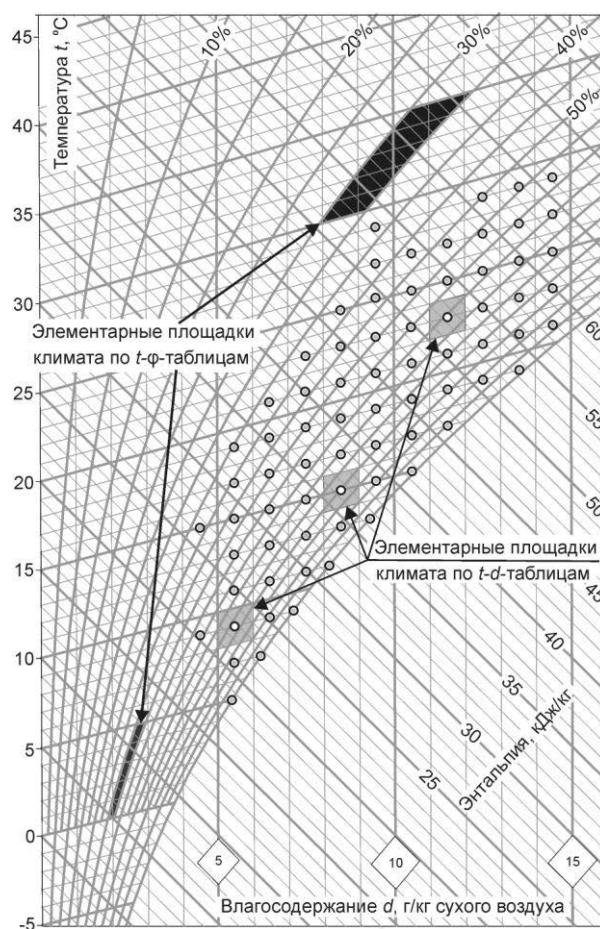


Рис. 1. Элементарные площадки климата на  $I$ - $d$ -диаграмме влажного воздуха

Fig. 1. Surface elements of climate on  $I$ - $d$ -diagram for humid air

На  $I$ - $d$ -диаграмме влажного воздуха область параметров климата за каждую смену месяца делится на элементарные площадки. Интервалы деления, определяющие размеры площадок, составляют по температуре  $\Delta t = 2$  °С и по влагосодержанию  $\Delta d = 1$  г/кг. На рис. 1 для примера показано три таких элементарных площадки. Для каждой элементарной площадки известно суммарное время (в часах) повторяемости сочетаний температуры и влагосодержания наружного воздуха.

Информация о климате за смены каждого месяца в виде  $t$ - $d$ -таблиц является исходной и представляется в виде 36 таблиц (12 месяцев  $\times$  3 смены), в которых столбцами являются средние значения интервалов по влагосодержанию  $d_{cp}$ , а строчками — средние значения температурных интервалов  $t_{cp}$ . В таком виде информация использовалась при расчетах в работе [15].

Информация в табл. 1 приведена за одну смену (с 0.00 до 8.00 ч) июля в качестве примера, поэтому город, для которого характерен этот климат, не указан. На рис. 1 эта же информация представлена в виде точек. Ниже такая же информация о климате будет приведена за год.

На основе этих исходных таблиц komponуется информация о климате за месяц в целом (12 таблиц), за смены сезона (12 таблиц), за смены года (3 таблицы), за сезоны (4 таблицы) и год (1 таблица) в целом. Итого общее количество таблиц составит:  $36 + 12 + 12 + 3 + 4 + 1 = 68$ .

Таблица 1

Информация о климате за смену месяца

Table 1

Monthly climate change

Июль 3 смена (0.00–8.00)		Средние значения влагосодержания $d_{cp}$ в каждом из интервалов, г/кг										
		4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5	13,5	14,5
Средние значения температуры $t_{cp}$ в каждом из интервалов, °C	5		0,08									
	7		0,69	0,38								
	9	0,15	1,14	3,28	1,45							
	11		1,37	4,04	13,79	4,95						
	13		0,53	1,90	12,27	23,62	10,74					
	15	0,15	0,30	1,07	5,41	11,58	20,34	13,02				
	17		0,38	1,30	3,81	6,02	9,90	13,94	13,1			
	19		0,08	0,38	1,37	3,43	5,18	5,64	7,85	11,97	2,51	
	21			0,23	1,07	1,52	2,06	2,36	3,58	3,58	1,75	0,61
	23				0,15	0,53	0,91	1,60	1,75	1,22	1,52	0,53
	25					0,15	0,23	0,69	0,46	0,46	0,23	0,23
	27						0,08	0,08	0,08	0,46	0,15	0,15
	29						0,08			0,08	0,23	0,08
$\Sigma$		0,3	4,57	12,58	39,32	51,8	49,52	37,33	26,82	17,77	6,39	1,6
Итого за смену месяца 248 ч												

Таким образом, полная информация о климате представляется в виде 68 таблиц.

Кроме  $t$ - $d$ -таблиц информация о климате может быть представлена в виде  $t$ - $I$ -таблиц [16]. Однако энтальпия  $I$  является расчетным параметром и зависит от температуры  $t$  и влагосодержания  $d$ .

Элементарные площадки климата могут строиться также по двум температурам: температуре по сухому термометру  $t$  и температуре по мокрому термометру  $t_M$  ( $t$ - $t_M$ -таблицы) [12, 13]. Такая исходная информация о климате была использована в работе [17] для г. Багдада (Ирак), где параметр  $t_M$  пересчитывался в значение влагосодержания  $d$ , чтобы перейти к  $t$ - $d$ -таблицам с последующим использованием разработанной прикладной компьютерной программы [6]. Также заслуживает серьезного внимания работа [18], в которой систематизируются методики по климатической основе и точности.

Для автоматических расчетов информация о климате из табличного варианта  $t$ - $d$ -таблиц переводится в электронный вид, где каждая таблица представляется в редакторе «Блокнот» в виде отдельного файла (всего 68

файлов) (рис. 2). В таком виде таблицы используются для автоматических расчетов в программе. Здесь приведена информация, представленная ранее в табл. 1.

Информация о климате в виде  $t$ - $d$ -таблиц была разработана для четырех городов России: Архангельска, Санкт-Петербурга, Москвы и Ростова-на-Дону (на основе статистических данных за период с 1966 по 2000 г.) при помощи специалистов ГГО имени А. И. Воейкова.

Математический эксперимент с использованием  $t$ - $d$ -таблиц

Продemonстрируем результаты решения указанных выше трех задач с использованием рассмотренной формы представления информации о климате.

Исходные условия для решения задач:

- в качестве объекта рассматривается помещение, в котором нормируемые параметры микроклимата обеспечиваются центральной СКВ;
- нормируемые параметры микроклимата в помещении заданы в виде области (температура 20–24 °C и относительная влажность 30–60%), а поддерживаются

0000	0.08	0000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	0000	0000
0000	0.69	0.38	00000	00000	00000	00000	00000	00000	0000	0000
0.15	1.14	3.28	1.45	00000	00000	00000	00000	00000	0000	0000
0000	1.37	4.04	13.79	4.95	00000	00000	00000	00000	0000	0000
0000	0.53	1.90	12.27	23.62	10.74	00000	00000	00000	0000	0000
0.15	0.30	1.07	5.41	11.58	20.34	13.02	00000	00000	0000	0000
0000	0.38	1.30	3.81	6.02	9.90	13.94	13.10	00000	0000	0000
0000	0.08	0.38	1.37	3.43	5.18	5.64	7.85	11.97	2.51	0000
0000	0000	0.23	1.07	1.52	2.06	2.36	3.58	3.58	1.75	0.61
0000	0000	0000	0.15	0.53	0.91	1.60	1.75	1.22	1.52	0.53
0000	0000	0000	0000	0.15	0.23	0.69	0.46	0.46	0.23	0.23
0000	0000	0000	0000	0000	0.08	0.08	0.08	0.46	0.15	0.15
0000	0000	0000	0000	0000	0.08	0000	0000	0.08	0.23	0.08

Рис. 2. Информация о климате за смену июля в редакторе Блокнот  
Fig. 2. Climate change in July (Notepad view)

по линии, обозначенной  $Y_a Y_b$ , являющейся диагональю этой области (рис. 3), где  $t_{y_a} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\phi_{y_a} = 30\%$ ,  $t_{y_b} = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\phi_{y_b} = 60\%$ ;

— помещение не имеет ограждений, непосредственно граничащих с атмосферным воздухом (так называемое «встроенное» помещение [1]). В этом случае исключается влияние климата через ограждающие конструкции (наружные возмущающие воздействия отсутствуют), что обеспечивает возможность оценки влияния климата только через параметры наружного воздуха на входе в кондиционер;

— внутренние возмущающие воздействия характеризуются удельными (т. е. отнесенными к  $1\text{ м}^2$  площади помещения) значениями тепло- и влаговыведений ( $q_{\text{вн}}$ ,  $W_{\text{вн}}$ ), а также расходом наружного воздуха (минимально-неизбежным  $m_{\text{Н}}$  и максимально-целесообразным  $m_{\text{Н}}$ ):

$$q_{\text{вн}} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ кВт/м}^2; W_{\text{вн}} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ г/(с}\cdot\text{м}^2);$$
$$m_{\text{Н}} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/(с}\cdot\text{м}^2); m_{\text{Н}} = 7,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/(с}\cdot\text{м}^2);$$

— рассматривается идеальная модель СКВ, с допущения, введенные для такой модели в работе [1];

— информация о наружном климате по рассмотренной форме подготовлена для Санкт-Петербурга и г. Ростова-на-Дону;

— режим работы СКВ круглосуточный при постоянных значениях внутренних возмущающих воздействий. Рассмотрение этого случая обеспечивает возможность оценить влияние изменений параметров наружного воздуха по сменам.

В качестве инструмента для расчетов использован метод энергосберегающих режимов профессора А. А. Рымкевича [1], реализованный в виде соответствующей прикладной компьютерной программы [6].

В соответствии с этим методом для принятых условий построена исходная термодинамическая схема (ИТС)

для второго класса нагрузок на СКВ (для второго класса нагрузок опорные точки  $\ddot{H}_a$  и  $\ddot{H}_b$  ИТС располагаются под линией  $\phi = 100\%$  [1]) (рис. 3). Построенная ИТС является основой для всех последующих расчетов.

Решение первой задачи, связанной с выбором технологической схемы тепловлажностной обработки воздуха, предполагает деление области климата на расчетные зоны, для каждой из которых определен свой режим функционирования СКВ. В совокупности эти режимы функционирования формируют технологическую схему тепловлажностной обработки воздуха в СКВ за рассматриваемый период времени (за год). Порядок решения этой задачи рассмотрен в [6].

Выбор установочных производительностей подсистем СКВ — решение второй задачи. Результаты расчетов для параметров А и Б [4] сведены в табл. 2.

Следует отметить, что интервалы расчетных энтальпий для теплого периода при параметрах А и Б, приведенные в последней редакции [4] (см. столбцы 4, 8 в табл. 2), в условиях отсутствия информации по необходимости нормируемых параметров воздушной среды в помещении создают дополнительную неопределенность, усложняющую принятие решения по выбору установочной производительности подсистем.

Используя же рассмотренную форму информации о климате, можно снять эту неопределенность, рассчитав время необеспеченности при расчетных параметрах А и Б. Результаты таких расчетов для климатов двух городов приведены в колонках 6, 10 табл. 2, а также на рис. 3 (для климата Санкт-Петербурга).

В общем случае, для учета влияния допустимого времени необеспеченности  $\tau_{\text{необ}}^{\text{доп}}$  требуется знать информацию, во-первых, о том какие элементарные площадки области климата следует принимать во внимание при выборе установочных производительностей каждой из подсистем (так называемые «опасные» площадки

Установочные производительности подсистем охлаждения и нагрева

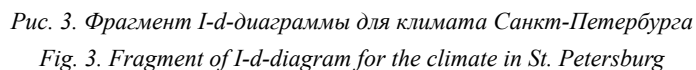
Таблица 2

Table 2

Design performance of cooling and heating subsystems

Название города	Расчетный период времени	Параметры «А» [4]				Параметры «Б» [4]			
		Температура, $^{\circ}\text{C}$	Энтальпия, $I_{\text{расч}}$ , кДж/кг	Установочная производительность подсистем охлаждения и нагрева, кВт/м <sup>2</sup>	Необеспеченность, ч	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Энтальпия, $I_{\text{расч}}$ , кДж/кг	Установочная производительность подсистем охлаждения и нагрева, кВт/м <sup>2</sup>	Необеспеченность, ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СПб	лето	20,5	43,6–48,4	0,0151–0,0496	600–211	24,6	48,4–52,6	0,0496–0,0799	211–91
	зима	–11	–7,7*	0	487	–26	–25,2*	0,0326	12
Р/н/Д	лето	27	56,8–61	0,0884–0,0968	334–129	32	61–65	0,0968–0,1048	129–37
	зима	–8	–4*	0	386	–22	–21*	0,0242	1

Примечания.  
1. Значения энтальпий наружного воздуха, отмеченных знаком «\*» (см. колонки 4, 8) получены в соответствии с [4] расчетным путем по заданной температуре и влагосодержанию.  
2. Поскольку для холодного периода года энтальпия параметров «А» для обоих городов больше энтальпии опорной точки  $\ddot{H}_a$  ИТС (для принятых исходных данных), где  $I_{\text{Н}} = -8,89\text{ кДж/кг}$ , то процессы обработки воздуха организуются без потребления теплоты. Поэтому подсистема нагрева не требуется (в колонке 5 для зимы стоят нули).  
3. Значения в колонках 5 и 9, выделенные курсивом, относятся к подсистеме охлаждения.



области климата, в которых нормируемые параметры воздушной среды в помещении не обеспечиваются). Ответ на этот вопрос дает метод энергосберегающих режимов. Во-вторых, требуется знать информацию о суммарном времени повторяемости сочетаний температуры и влагосодержания наружного воздуха на этих «опасных» площадках за год. Ответ на этот вопрос дает предложенная форма информации о климате.

С учетом этого при использовании рассмотренной формы информации о климате, в отличие от [4], значения энтальпий  $I_{\text{расч}}^{\text{лето}}$ ,  $I_{\text{расч}}^{\text{зима}}$  (см. колонки 4, 8 в табл. 2) принимаются не нормативно, а в зависимости от принятого времени необеспеченности нормируемых параметров воздушной среды в помещении  $\tau_{\text{необ}}$ , где  $\tau_{\text{необ}}$  рассчитывается как сумма продолжительностей суммарной повторяемости сочетаний температуры и влагосодержания наружного воздуха в «опасных» площадках области климата. Для каждой из подсистем СКВ расположение этих точек (элементарных площадок) на  $I$ - $d$ -диаграмме будет разное. Например, для подсистемы охлаждения это все точки, лежащие выше принятой расчетной энтальпии  $I_{\text{расч}}^{\text{лето}}$ ; для подсистемы нагрева — ниже  $I_{\text{расч}}^{\text{зима}}$ . Выборочно для климата г. Санкт-Петербурга информация о расчетных значениях энтальпий  $I_{\text{расч}}^{\text{лето}}$ ,  $I_{\text{расч}}^{\text{зима}}$  и соответствующих им значениях времени необеспеченности приведена на рис. 3. Так, например, при  $I_{\text{расч}}^{\text{лето}}$  равной 52,6 и 61,08 кДж/кг значения  $\tau_{\text{необ}}$  будут составлять 91 и 5 ч, соответственно.

Аналогично для зимнего периода: при  $I_{\text{расч}}^{\text{зима}}$ , равной –25,2 и –7,7 кДж/кг, значения  $\tau_{\text{необ}}$  будут составлять 12 и 487 ч, соответственно.

Взаимосвязь между  $\tau_{\text{необ}}$  и  $I_{\text{расч}}^{\text{лето}}$  ( $I_{\text{расч}}^{\text{зима}}$ ) позволяет получить зависимости установочных производительностей для подсистем охлаждения  $q_X^{\text{уст}}$  и нагрева  $q_T^{\text{уст}}$  от  $\tau_{\text{необ}}$ . В графической виде они приведены на рис. 4. С помощью таких графиков может быть наглядно продемонстрирован подход к выбору установочных производительностей подсистем для заданного значения необеспеченности  $\tau_{\text{необ}}^{\text{доп}}$ . Так, например, для климата г. Санкт-Петербурга установочная производительность подсистемы охлаждения  $q_X^{\text{уст}}$  при  $\tau_{\text{необ}}^{\text{доп}} = 60$  ч должна быть не меньше 0,08 кВт/м<sup>2</sup>; при  $\tau_{\text{необ}}^{\text{доп}} = 120$  ч — не меньше 0,07 кВт/м<sup>2</sup>; при  $\tau_{\text{необ}}^{\text{доп}} = 200$  ч — не меньше 0,058 кВт/м<sup>2</sup> (рис. 4, а). Расчетные значения установочных производительностей подсистем определяются с использованием разработанной прикладной компьютерной программы [6].

Аналогично для подсистемы нагрева (рис. 4, б): значение  $q_T^{\text{уст}}$  при  $\tau_{\text{необ}}^{\text{доп}} = 30$  ч должна быть не меньше 0,026 кВт/м<sup>2</sup>; при  $\tau_{\text{необ}}^{\text{доп}} = 60$  ч — не меньше 0,022 кВт/м<sup>2</sup>; при  $\tau_{\text{необ}}^{\text{доп}} = 100$  ч — не меньше 0,018 кВт/м<sup>2</sup>.

Для выбора установочных производительностей подсистем адиабатного увлажнения ( $m_W^{\text{уст}}$ ), первой ( $m_{R1}^{\text{уст}}$ ) и второй ( $m_{R2}^{\text{уст}}$ ) рециркуляции должны приниматься во внимание другие точки климата, совершенно не связанные с параметрами А и Б. Какие именно точки должны рассматриваться для каждой из указанных подсистем — ответ на этот вопрос дает метод энергосберегающих режимов (на рис. 3 эти точки выделены по-разному, в зависимости от того, для какой подсистемы они учитываются). Вопрос о том, почему выбраны именно эти точки, заслуживает самостоятельного рассмотрения в от-

дельной статье. Здесь же отметим, что принцип получения такой информации остается таким же, как и для подсистем охлаждения и нагрева: задается время необеспеченности и программа определяет, какие точки климата могут быть исключены из рассмотрения без нарушения заданного времени  $\tau_{\text{необ}}$ . При этом исключаются точки с максимальной производительностью подсистем СКВ.

Результаты расчетов, связанные с выбором установочных производительностей подсистем адиабатного увлажнения, первой и второй рециркуляции в зависимости от  $\tau_{\text{необ}}$ , в графическом виде приведены на рис. 4.

На отдельных участках (рис. 4, г, д) графики для климатов СПб и Р/н-Д совпадают. В этих случаях график для СПб накладывается сверху на график Р/н-Д.

Следует подчеркнуть, что приведенные графические зависимости получены для конкретных исходных данных, при изменении которых естественно изменятся и сами эти зависимости. Поэтому основное их предназначение в этой статье — прежде всего, наглядно показать, какие возможности могут быть предоставлены разработчику при использовании рассмотренной формы информации о климате. Так, из рис. 4, видно, что для времени  $\tau_{\text{необ}}$  могут быть интервалы значений, в пределах которых установочные производительности подсистем не изменяются (или изменяются очень незначительно). Это обстоятельство может оказаться существенным при обосновании значения  $\tau_{\text{необ}}^{\text{доп}}$  на этапе формирования технического задания (эскизного проекта), а также при учете дискретного ряда типоразмеров оборудования. Например, для подсистемы охлаждения, если для климата Санкт-Петербурга принимаемое значение  $\tau_{\text{необ}}$  существенно влияет на выбор  $q_X^{\text{уст}}$ , то для климата г. Ростова-на-Дону это влияние незначительно (рис. 4, а). На рис. 4, б, в, г, д в графиках наблюдаются горизонтальные участки, указывающие на то, что для каких-то интервалов  $\tau_{\text{необ}}$  установочные производительности подсистем не изменяются. На рис. 4, г для климата г. Санкт-Петербург видно, что начиная с  $\tau_{\text{необ}} = 100$  ч расход воздуха первой рециркуляции может быть уменьшен в два раза; для климата г. Ростова-на-Дону расход воздуха первой рециркуляции не зависит от времени необеспеченности  $\tau_{\text{необ}}$ .

Расчет расходов теплоты, холода, воздуха и воды, потребляемых в СКВ (решение третьей задачи). Расчет расходов теплоты, холода, воздуха и воды (технологических параметров — ТП), потребляемых в СКВ при тепловлажностной обработке воздуха производится на основе метода энергосберегающих режимов. При этом используется рассмотренная форма информации о климате, представленная в виде файлов, и уже упоминаемая выше прикладная компьютерная программа расчета [6].

Расходы ТП представляются в виде удельных (т. е. отнесенных к 1 м<sup>2</sup> пола помещения) значений теплоты  $q_T$  и холода  $q_X$  (кВт·ч/м<sup>2</sup>), воды  $m_W$  (кг/м<sup>2</sup>) и воздуха (наружного  $m_H$ , первой  $m_{R1}$  и второй  $m_{R2}$  рециркуляции) (кг/м<sup>2</sup>) за следующие расчетные периоды: год, сезон, месяц. При необходимости эта информация может быть представлена по сменам рассматриваемых периодов.

Для принятых исходных условий результаты расчета значений ТП за смены года и в целом за год для климатов двух городов приведены в табл. 3 [15].



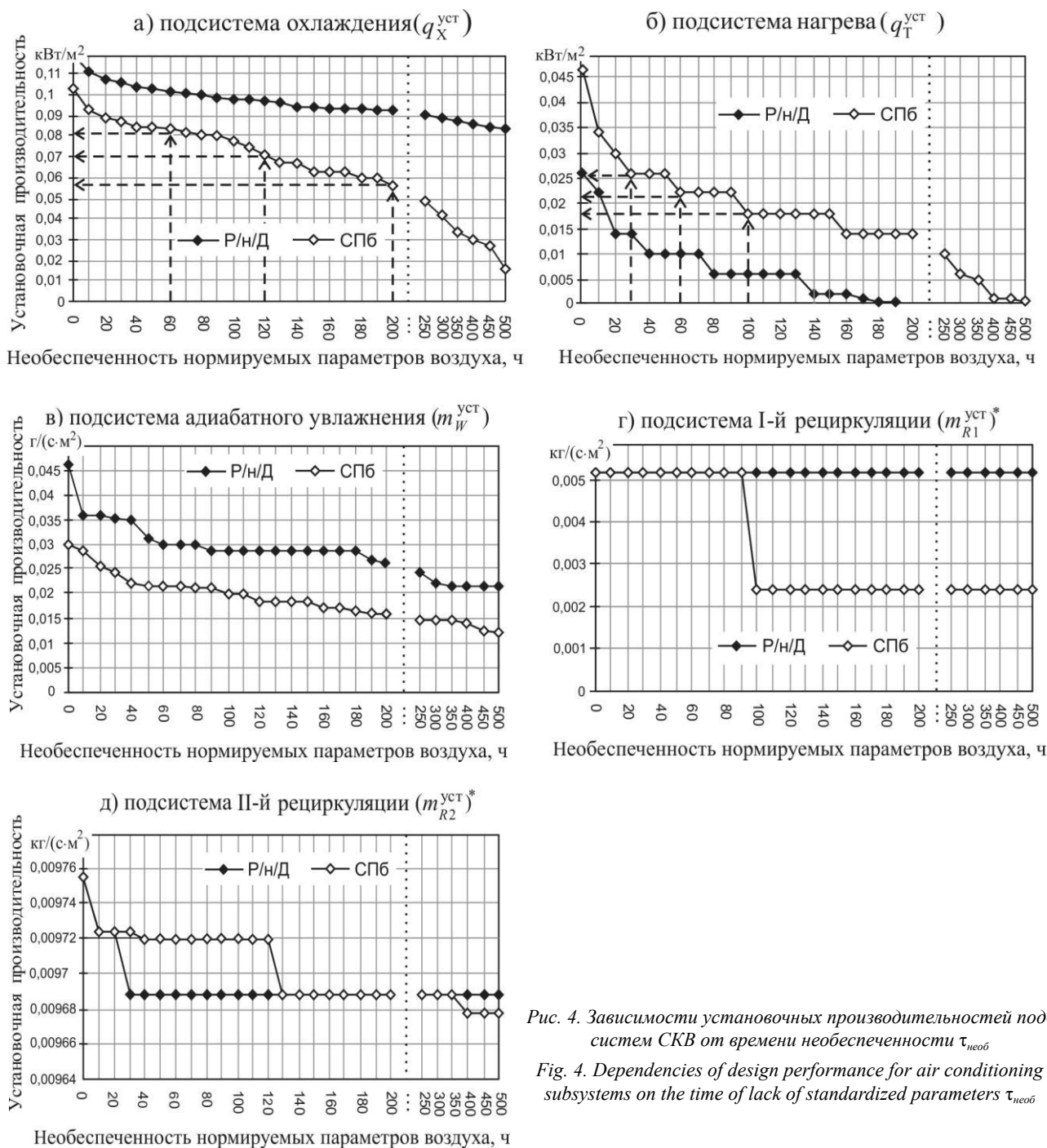


Рис. 4. Зависимости установочных производительностей подсистем СКВ от времени необеспеченности  $\tau_{необ}$

Fig. 4. Dependencies of design performance for air conditioning subsystems on the time of lack of standardized parameters  $\tau_{необ}$

Таблица 3

Расходы ТП, потребляемые в СКВ, для климата СП6 и Р/н-Д

Table 3

The values of technological parameters of air conditioning systems for the climate in St. Petersburg and Rostov-on-Don

Расчетный период года	Значения ТП за расчетный период						
	$q_T$ , кВт·		$q_X$ , кВт·	$m_W$ , кг/м <sup>2</sup>	$m_H$ , кг/м	$m_{R1}$ , кг/м <sup>2</sup>	$m_{R2}$ , кг/м <sup>2</sup>
1	2		3	4	5	6	7
1-я смена года	СПб	1,52	13,85	51,1	44615	6708	87964
	Р/н-Д	0,72	30,24	50,22	48124	6700	84248
2-я смена года	СПб	1,88	8,11	29,5	43483	6617	89259
	Р/н-Д	0,18	57,66	84,89	47534	10222	81190
3-я смена года	СПб	2,25	6,64	24,9	42847	6883	89659
	Р/н-Д	0,52	33,35	54,61	48814	6668	83549
за год	СПб	5,65	28,6	105,5	130945	20208	266882
	Р/н-Д	1,42	121,25	189,72	144472	23590	248987



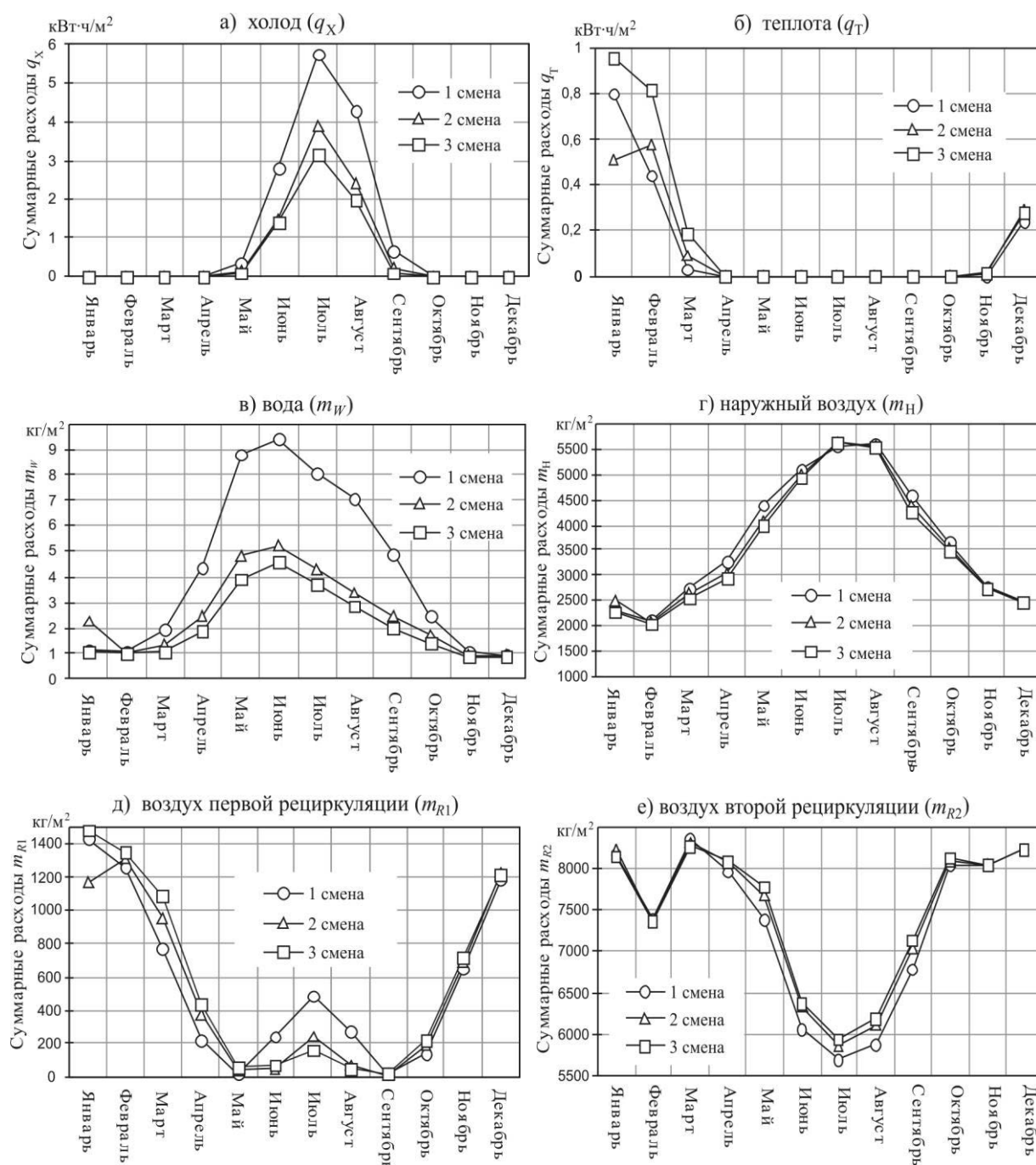


Рис. 5. Расходы холода (а), теплоты (б), воды (в), воздуха наружного (г), воздуха первой (д) и второй (е) рециркуляции по сменам месяцев для климата Санкт-Петербурга

Fig. 5. Consumption of cold (a), heat (б), water (в), outdoor air (г), air of the first (д) and second (е) recirculation by month for the climate in St. Petersburg

На рис. 5, в качестве примера для климата Санкт-Петербурга, показано, как те же самые результаты, что и в табл. 3, могут быть представлены по сменам месяцев года. Видно, что значения ТП существенно различаются по месяцам, что для расходов холода (а) и теплоты (б) является очевидным, а для расходов воды (в) и воздуха наружного (г), первой (д) и второй (е) рециркуляции эти результаты представляют некоторый интерес. При этом следует иметь в виду, что, поскольку остаточные тепло-влажностные нагрузки на СКВ в расчетах были приняты постоянными в течение года, то различие в значе-

ниях ТП по сменам месяца обусловлено только изменениями параметров наружного воздуха по сменам.

Информация о расходах ТП может быть представлена также в целом (без смен суток) по месяцам, сезонам и за год.

Подобные задачи решались также для климата г. Архангельска и Москвы.

### Заключение

Таким образом, предлагаемая к использованию форма представления информации о климате в совокупности

с методом энергосберегающих режимов и соответствующим программным обеспечением позволяют решать рассмотренные выше задачи. А именно выбор технологической схемы тепловлажностной обработки воздуха, выбор установочных производительностей подсистем СКВ, расчет расходов теплоты, холода, воздуха и воды, потребляемых в СКВ для различных расчетных периодов времени.

## Литература

1. Рымкевич А. А. Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха. — СПб: АВОК С-3, 2003. 272 с.
2. Коченков Н. В. Адаптивное управление процессом тепловлажностной обработки воздуха в системах кондиционирования // Известия РАН. Теория и системы управления. 2016. № 5. С. 90–99.
3. ГОСТ 2.119–2013 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Эскизный проект.
4. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\*.
5. СП 60.1333.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003.
6. Коченков Н. В. Энергосберегающие режимы систем кондиционирования воздуха: монография. Ч. 1: СКВ, обслуживающие помещения с однохарактерными нагрузками. — СПб: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2009. 399 с.
7. Коченков Н. В. Проблема разработки научно-методических основ создания систем кондиционирования воздуха для помещений с разнохарактерными нагрузками // Вестник Международной академии холода. 2014. № 3. С. 48–52.
8. Коченков Н. В. Первая и вторая рециркуляции в центральной системе кондиционирования воздуха // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 1 (48). С. 172–181.
9. ГОСТ 16350–80 Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей. — Введ. 1981-07-01. — М.: Госстандарт СССР, 1980. 141 с.
10. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Часть 6. Комплексы метеорологических величин. — Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 192 с.
11. Крючкова О. Ю. Разработка вероятностно-статистической модели климата для расчетов энергопотребления центральными системами кондиционирования воздуха: Автореф. дис... канд. техн. наук. — М.: МГСУ, 2014. 19 с.
12. Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen. Energieaufwand der Nutzenübergabe. Raumluftechnik. Technische Regel. VDI 2067 Blatt 21:2003–05.
13. Vornormreihe DIN V 18599 — Energetische Bewertung von Gebäuden — Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung. Berlin.
14. WMO No. 726580. Dry-Bulb Temperature Hours For An Average Year (Sheet 2 of 5). Period of Record = 1973 to 1996.
15. Стешина Ю. Г. Разработка графоаналитической модели местной системы охлаждения при ее совместном функционировании с системой кондиционирования воздуха. Магистерская дис. — СПб.: ИТМО, 2015. 75 с.
16. ГОСТ Р 56503–2015 Системы кондиционирования воздуха. Расчет затрат энергии. — М.: Стандартинформ, 2016.

К настоящему времени проработаны все аспекты, связанные с особенностями использования предлагаемой формы информации о климате для целей проектирования систем кондиционирования. Для массового использования этой формы требуется закрепить ее нормативно и распространить на основные города России.

## References

1. Rymkevich A. A. System analysis optimization of general ventilation and air conditioning. St. Petersburg: AVOK, 2003. 272 p. (in Russian)
2. Kochenkov N. V. Adaptive management of process of heatmoist processing of air in air conditioning systems. *News of RAS. Theory and control systems*. 2016. No 5. P. 90–99. (in Russian)
3. State standard 2.119–2013 Unified system for design documentation (ESKD). Sketch design. (in Russian)
4. Set of rules 131.13330.2012 Construction climatology. Updated version of SNiP 23-01-99\*. (in Russian)
5. Set of rules 60.1333.2012 Heating, ventilation and air conditioning. Updated edition of SNiP 41-01-2003. (in Russian)
6. Kochenkov N. V. Energy saving modes of air conditioning systems: monograph. Part 1: The hard currencies serving rooms with one-characteristic loadings. SPb: VKA to them. A. F. Mozhaysky, 2009. 399 p. (in Russian)
7. Kochenkov N. V. The problem of the development of scientific and methodological foundations for the creation of air conditioning systems for rooms with various loads. *Journal of the International Academy of Refrigeration*. 2014. № 3. p. 48–52. (in Russian)
8. Kochenkov N. V. The first and second recirculation in the central air conditioning system. *Bulletin of civil engineers*. 2015. № 1 (48). p. 172–181. (in Russian)
9. State standard 16350–80 Climate of the USSR. Regionalization and statistical parameters of climatic factors for technical purposes. — Enter 1981-07-01. Moscow, USSR State Standard, 1980. 141 p. (in Russian)
10. Scientific and applied reference book on the climate of the USSR. Series 3. Longterm data. Part 6. Meteorological value complexes. L.: Gidrometeoizdat, 1990. 192 p. (in Russian)
11. Kryuchkova O.Yu. Development of a probabilistic-statistical climate model for calculating energy consumption by central air conditioning systems: abstract. dis... Ph.D. Moscow, MGSU, 2014. 19 p. (in Russian)
12. Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen. Energieaufwand der Nutzenübergabe. Raumluftechnik. Technische Regel. VDI 2067 Blatt 21: 2003-05.
13. Vornormreihe DIN V 18599 — Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung. Berlin.
14. WMO No. 726580. Dry-Bulb Temperature For An Average Year (Sheet 2 of 5). Period of Record = 1973 to 1996.
15. Steshina Yu.G. Development of graphic-analytical model of the local cooling system at its joint functioning with the air conditioning system. Master yew. SPb.: ITMO, 2015. 75 p. (in Russian)
16. State standard R 56503-2015 Air conditioning systems. Calculating energy costs. Moscow, Standardinform. 2016. (in Russian)

17. Салман А. С. С. Формализация информации о климате для г. Багдада // Альманах научных работ молодых ученых XLII научной и учебно-методической конференции Университета ИТМО. Том 4. С. 98–100.
18. Сотников А. Г., Кобышева Н. В., Ключева М. В. Можно ли «энергосберегать» без единой методики расчета? (о систематизации методик по климатической основе и точности). Труды VII съезда АВОК. — СПб., 2002. С. 30–33.

17. Salman A.S.S. Formalization of climate information for the city of Baghdad. Almanac of scientific works of young scientists of the XLII scientific and educational conference of the ITMO University. Vol. 4. p. 98–100. (in Russian)
18. Sotnikov A.G., Kobysheva N.V., Klyueva M.V. Is it possible to "save" without a single method of calculation? (on systematization of methods based on climate and accuracy). Proceedings of the VII Congress of ABOK. SPb. 2002. p. 30–33. (in Russian)

### Сведения об авторах

#### Коченков Николай Викторович

к. т. н., доцент факультета низкотемпературной энергетики Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, kochenkov63@mail.ru, ORCID: 0000-0002-5367-0759, Scopus ID: 57191579216, РИНЦ SPIN-код: 3255–4202.

#### Салман Ахмед Саадаллах Салман

аспирант факультета низкотемпературной энергетики Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, ahsalman1976@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0596-3813

#### Антонова Татьяна Сергеевна

магистрант факультета низкотемпературной энергетики Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, taniant@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1729-5429

### Information about authors

#### Kochenkov Nikolay Viktorovich

Ph. D., Associate professor of Faculty of Cryogenic Engineering of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, kochenkov63@mail.ru, ORCID: 0000-0002-5367-0759, Scopus ID: 57191579216

#### Salman Ahmed Saadallakh Salman

Graduate student of Faculty of Cryogenic Engineering of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, ahsalman1976@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0596-3813

#### Antonova Tatiana Sergeyevna

Undergraduate of Faculty of Cryogenic Engineering of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, taniant@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1729-5429



### Выставка продуктов питания и напитков

## InterFood St. Petersburg

14–15 апреля 2020 г.

**InterFood St. Petersburg** – эффективная бизнес-площадка для прямого контакта производителей и поставщиков с представителями предприятий оптовой торговли, независимой и сетевой розничной торговли, а также предприятий общественного питания Северо-Западного региона России.

### РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ:

- |                                         |                                          |
|-----------------------------------------|------------------------------------------|
| ✓ Кондитерские и хлебобулочные изделия; | ✓ Спортивное питание;                    |
| ✓ Мясные и колбасные изделия;           | ✓ Детское питание. Здоровое питание;     |
| ✓ Молочная продукция;                   | ✓ Снеки, орехи, сухофрукты;              |
| ✓ Рыба и морепродукты;                  | ✓ Специи и соусы;                        |
| ✓ Овощи и фрукты. Бакалея;              | ✓ Чай и кофе;                            |
| ✓ Масложировая продукция;               | ✓ Безалкогольные напитки;                |
| ✓ Консервация. Мороженое;               | ✓ Полуфабрикаты и замороженные продукты. |

#### Организатор выставки:

Компания MVK  
190000, Россия, Санкт-Петербург,  
Конногвардейский бул., д. 4, лит. А  
+7 (812) 380 6000

#### Место проведения:

Санкт-Петербург, Петербургское шоссе, 64/1,  
КВЦ "ЭКСПОФОРУМ"

<http://www.interfood-expo.ru/>