

УДК 628.8

Влияние исходных условий объекта на функциональные показатели систем обеспечения микроклимата

Канд. техн. наук **Лысёв В.И.** kafedra-kv@yandex.ru

Парижская Т.А. parizh_1993@mail.ru

Университет ИТМО

191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Климатические параметры наружного воздуха всегда изменчивы, как в течение астрономического года, так и в долгосрочной перспективе, что приводит к неопределенности возможных затрат на сооружение систем обеспечения микроклимата. Многообразие объектов и их исходных условий предопределяет множество возможных вариантов технических решений, а противоречивость определяющих показателей и отсутствие рекомендации о способе выполнения количественной оценки влияния выбранных НРП на степень обеспеченности, а также связанных с этим обстоятельством расчетных величин необходимого потребления теплоты на нагрев воздуха в холодный период и холода для снижения температуры наружного воздуха в теплый период года, значительно осложняет выбор. В основе выбора рационального варианта технического решения системы обеспечения микроклимата лежит целенаправленное рассмотрение исходных условий объекта с последующим анализом функциональных показателей возможных (альтернативных) технических решений систем. В связи с зависимостью количества требуемых ресурсов не только от принципиального решения систем, но и от режимов функционирования, предложено оценивать функциональные показатели системы по значениям сезонных коэффициентов обеспеченности, а так же по удельным затратам энергоресурсов. Данный подход пояснен на примере конкретных объектов.

Ключевые слова: система обеспечения микроклимата, исходные условия, варианты технических решений, расход наружного приточного воздуха, нагрев и охлаждение воздуха, удельный расход теплоты и холода, расчетные параметры наружного воздуха, коэффициенты обеспеченности.

DOI:10.17586/2310-1148-2017-10-2/3-3-11

The effect of the initial conditions on the functional indicators of microclimate maintenance systems

Ph.D. **Lysev V.I.** kafedra-kv@yandex.ru

Parizhskaya T.A. parizh_1993@mail.ru

ITMO University

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

Outdoor climate parameters are always variable, both during the year and in long-term perspective, which leads to uncertain expenses on building microclimate maintenance systems. The great variety of facilities and their initial conditions predetermines a variety of possible technical solutions, and controversy of defining parameters with lack of recommendations on how to evaluate the influence of chosen design parameter on seasonal provision coefficient, and related to this circumstance calculated values of needed resources of heat and cold, makes it difficult to choose. The basis of choosing rational technical solution options is targeted consideration of the facility's initial conditions with further analysis of alternative technical solution indicators. Due to the dependence of needed resource values both on the technical solution and on the operation mode, it is suggested to evaluate system's functional indicators by the values of seasonal provision coefficient. The approach is explained on the example of specific facilities.

Keywords: microclimate maintenance systems, initial conditions, technical solution options, outdoor supply airflow rate, air heating and cooling, specific heat and cold consumption, outdoor air design parameters, provision coefficient.

Системы обеспечения микроклимата должны создавать нормируемые параметры микроклимата в объекте при минимально-необходимых затратах на их сооружение и эксплуатацию [1]. Технические решения систем обеспечения микроклимата (СОМ) традиционно реализуются следующим образом [1, 2, 3, 4]:

– системы, использующие в теплый период года термодинамический потенциал наружного приточного воздуха;

– системы с *испарительным охлаждением* (с целью снижения температуры) наружного приточного воздуха;

– системы с *искусственным (машинным) охлаждением* наружного приточного воздуха.

Первую группу систем обычно называют системами вентиляции (СВ), вторую – системами вентиляции с адиабатным (испарительным) охлаждением (СВ-А), а третью группу – системами кондиционирования (СК).

Возможные *варианты технических решений* систем зависят от *исходных условий*, определяющих специфику конкретного объекта (помещения или группы помещений). К ним относятся [1, 5, 6]:

- *нормируемые параметры* воздуха в рабочей или обслуживаемой зоне объекта;
- расчетные (ожидаемые) *поступления* теплоты, влаги, вредных веществ и газов;
- минимальный (минимально-необходимый) расход *наружного* воздуха;
- *расчетные параметры* наружного воздуха;
- функционально-технические характеристики используемого *оборудования*.

Энергопотребление системы обеспечения микроклимата является одним из основных показателей для обоснованного выбора вариантов ее технического решения. Величина необходимых ресурсов зависит как от *принципиального решения* системы, так и *режимов ее функционирования* [1, 7, 8].

Многообразие объектов и их исходных условий предопределяет множество *возможных вариантов* технических решений. Существенное влияние на выбор того или иного решения оказывает противоречивость определяющих этот выбор показателей. Так, например, минимизация энергопотребления приводит к возрастанию единовременных затрат на оборудование, обеспечивающее экономию энергии и топлива. Однако ограничение первоначальных затрат увеличивает эксплуатационные расходы при функционировании системы.

Последовательное рассмотрение исходных условий конкретного объекта позволяет *обоснованно* формировать варианты решений систем обеспечения микроклимата. Оптимальные *нормы* температуры и относительной влажности воздуха в обслуживаемой зоне по экономическим соображениям целесообразно поддерживать на минимальном уровне в холодный период года и на максимальном – в теплый период [9, 10]. Значения воздействий, прежде всего *теплопоступлений*, определяются внутренними и внешними факторами. Внутренние факторы зависят от характера деятельности в объекте, а внешние - от архитектурно-строительных особенностей объекта и наружного климата. Так теплопоступления за счет солнечной радиации через светопрозрачные ограждения существенно зависят от ориентации ограждения по странам света, времени суток и географической широты региона, в котором находится объект [11, 12].

Минимально-необходимый расход наружного воздуха определяется из условия ассимиляции вредных веществ, компенсации местных и технологических вытяжных устройств или необходимости создавать в объекте подпор (избыточное давление). Поэтому правильное определение этого расхода влияет на экономические показатели системы [1, 5]. Расчетные параметры наружного воздуха, зависящие от географического района (региона) расположения объекта, могут изменяться в широком диапазоне [11] и определяют выбор технологических схем обработки воздуха и потребление энергоресурсов.

Рассмотрим влияние основных *исходных факторов* на примере *характерного* административного (офисного) помещения для климатических условий Северо-Западного региона (например, Санкт-Петербурга). Исходные условия объекта представлены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные условия административного (офисного) помещения

Наименование исходного условия	Размерность	Значение
Температура воздуха в обслуживаемой зоне (оптимальное значение максимальной температуры в теплый период года) [9] – $t_{оз}$	°С	25
Количество работников (категория работы – легкая) – n	чел	3
Санитарная норма расхода наружного воздуха [9] – $L_{сн}$	(м ³ /ч)/чел.	60
Количество оргтехники – m	комп.	2
Площадь поверхности остекления – $F_{ост}$	м ²	3
Коэффициент солнцезащиты [4] – $к_{сз}$		0,4
Объем помещения – V	м ³	60
Площадь пола – $F_{п}$	м ²	20
Теплопоступления от комплекта оборудования [2] – $q_{об}$	Вт	55
Тепловыделения от одного человека [9] – q	Вт	65
Влагодоступления от одного человека [9] – g	г/ч	115
Значение солнечной радиации за расчетный час $q_{ср}$ при ориентации наружного ограждения [9]: на Север на Юг	Вт/м ²	158 540

Расчетные параметры наружного воздуха [9, 10] представлены табл. 2.

Таблица 2

Расчетные параметры наружного воздуха для климатических условий Санкт-Петербурга

Расчетная г. ш.	Период года	Параметры А		Параметры Б		Среднесуточная амплитуда температуры воздуха °С
		Температура воздуха t , °С	Удельная энтальпия воздуха h , кДж/кг	Температура воздуха; t , °С	Удельная энтальпия воздуха h , кДж/кг	
60	Теплый	20,6	48,1	24,8	51,5	8,7
	Холодный	-11,0	-8,0	-26,0	-25,3	

Максимальное значение температуры в обслуживаемой зоне, соответствующее оптимальной норме [1] составляет в теплый период года $t_{оз} = 25$ °С.

Определим расчетные (ожидаемые) теплопоступления в рассматриваемый объект при условии ориентации наружных ограждений на Север или на Юг (противоположные фасады).

Внутренние составляющие поступлений теплоты и влаги составят:

$$Q = qn = 65 * 3 = 195 \text{ Вт} = 0,195 \text{ кВт}$$

$$G_{вл} = gn = (115 * 3) / 3600 = 0,1 \text{ г/с}$$

$$Q_{об} = q_{об}n = 55 * 2 = 110 \text{ Вт} = 0,11 \text{ кВт}$$

Ожидаемые (в расчетный час) теплопоступления от *солнечной радиации*:

$$Q_{ср} = k_{сз} q_{ср} F_{ост},$$

составят соответственно:

– для Северной ориентации ограждений: $0,4 * 158 * 3 = 190 \text{ Вт}$

– для Южной ориентации ограждений: $0,4 * 540 * 3 = 648 \text{ Вт}$

Таким образом, расчетная *тепловая нагрузка* помещения составит:

$$Q_{п} = (Q + Q_{об}) + Q_{ср}$$

– для Северной ориентации ограждений: $(195 + 110) + 190 = 495 \text{ Вт}$

– для Южной ориентации ограждений: $(195 + 110) + 648 = 953 \text{ Вт}$

Сравнение результатов расчета показывает, что влияние ориентации ограждения может приводить к различию *расчетной тепловой нагрузки* почти в два раза.

Величина минимально-необходимого расхода *наружного воздуха*:

$$L_{н} = L_{сн} * n$$

$$L_{н} = 60 * 3 = 180 \text{ (куб.м/час)}$$

Этому значению соответствует для данного помещения 3-х кратный воздухообмен

$$k = 180 / 60 = 3 \text{ (1/ч)}$$

В теплый период года при *расчетных параметрах А* возможно использование для ассимиляции избытков теплоты в объекте непосредственно *потенциала наружного воздуха*, а также его *испарительное охлаждение* [2, 4].

Тогда расчетный воздухообмен при непосредственном использовании *потенциала наружного воздуха* (с учетом возможного повышения температуры в приточном вентиляторе порядка 0,4°C), определенный из выражения $L_n = 3,6 Q_n / c_v \cdot \rho_v (t_y - t_n)$ составит:

- для Северной ориентации ограждений: $3,6 * 495 / 1 * 1,2 (25 - 21) = 370$ (куб. м)/час
- для Южной ориентации ограждений: $3,6 * 953 / 1 * 1,2 (25 - 21) = 715$ (куб. м)/час

Расчетный воздухообмен при *испарительном охлаждении* наружного приточного воздуха до температуры 17°C составит соответственно:

- для Северной ориентации ограждений: $3,6 * 495 / 1 * 1,2 (25 - 17) = 185$ (куб. м)/час
- для Южной ориентации ограждений: $3,6 * 953 / 1 * 1,2 (25 - 17) = 358$ (куб. м)/час

Отметим, что для *Северной* ориентации наружного ограждения расчетный воздухообмен *практически равен* минимально-необходимому расходу *наружного* воздуха.

При *расчетных параметрах* Б, как правило, необходимо *охлаждать* наружный воздух, используя *искусственные* («машинные») источники холода.

Сохраняя рабочую разность температур, равной 8 °С, получим те же значения расхода приточного воздуха, что и при использовании испарительного охлаждения наружного приточного воздуха.

При использовании *централизованного* источника холода *удельный* (отнесенный к 1(кв. м) площади пола) расчетный *расход холода* составит:

$$Q_x = Q_n / F_{п} = L_n = ((c_v \cdot \rho_v * L_n / 3,6 (t_{Нр} - t_n)) / F_{п}$$

соответственно:

- для Северной ориентации ограждений: $(1 * 1,2 * 185 / 3,6 (24,8 - 17)) / 20 = 24$ Вт/(кв.м);
- для Южной ориентации ограждений: $(1 * 1,2 * 358 / 3,6 (24,8 - 17)) / 20 = 46,54$ Вт/(кв.м);

Для *водовоздушной* схемы системы, состоящей из приточно-вытяжной установки вентиляции, обеспечивающей минимальный расход наружного воздуха, и воздухоохладителей (фэнкойлов), реализующих нейтрализацию теплоступлений в помещении, расход холода при использовании *децентрализованного* (местного) охлаждения воздуха равен *расчетной тепловой нагрузке* в помещении.

Удельная величина расхода холода (отнесенная 1 (кв. м) площади пола) $Q_x = Q_n / F_{п}$ при этом составит:

- для Северной ориентации ограждений: $495 / 20 = 24,75$ Вт/(кв. м);
- для Южной ориентации ограждений: $953 / 20 = 47,64$ Вт/(кв. м);

Результаты проведенных расчетов представлены в *итоговой* табл. 3.

Таблица 3

Итоговые результаты расчетов

№ п/п	Наименование показателей	Варианты систем обеспечения микроклимата (СОМ)			
		Система вентиляции (СВ)		Система кондиционирования (СК)	
		Прямое охлаждение	Испарительное охлаждение	Централизованное охлаждение	Децентрализованное охлаждение
1	Коэффициент обеспеченности параметров в объекте	0,95		0,98	
2	Кратность воздухообмена по наружному приточному воздуху	6/12	3/6	3/6	3/6
3	Расчетный удельный расход холода	–	–	24,0/46,54	24,75/47,64

Примечание: перед чертой – значения для Северной ориентации наружных ограждений; после черты – для Южной ориентации наружных ограждений

Одним из основных показателей функционирования любой системы обеспечения микроклимата (СОМ) является *степень обеспечения* нормируемых параметров микроклимата в объекте. Профессор А.А. Рымкевич предложил оценивать качество СОМ значениями *функциональных показателей* [1]. Попробуем оценить влияние *исходных условий* (прежде всего нормируемых параметров в объекте и расчетных параметров наружного воздуха) на функциональные показатели СОМ, в частности на величину отклонения температуры воздуха в объекте от нормируемого значения и продолжительность «необеспеченности» необходимых значений температур в течение годового цикла эксплуатации системы [5, 10].

Известно, что на выбор технических решений СОМ и их основных показателей (расчетных расходов воздуха, теплоты, холода, воды или пара) существенное влияние оказывают *климатические параметры* наружного воздуха, которые применяются при проектировании в зданиях и сооружениях систем отопления, вентиляции и кондиционирования [10, 11]. В соответствии сп. 5.13СП 60.13330.2012 «*Заданные параметры микроклимата в помещениях жилых, общественных, административно-бытовых и производственных зданий следует обеспечивать в пределах расчетных параметров наружного воздуха для соответствующих районов строительства, принятых, как правило, по СП 131.13330:*

Параметров А – для систем вентиляции и воздушного душирования в теплый период года;

Параметров Б – для систем отопления, вентиляции и воздушного душирования в холодный период года, а также для систем кондиционирования в теплый и холодный периоды года»

При этом согласно п. 5.15СП 60.13330 «*По заданию на проектирование допускается принимать более низкие параметры в холодный период года и более высокие в теплый период года, чем расчетные параметры наружного воздуха по п.5.13...*». Причем относительная влажность воздуха «*при отсутствии специальных требований не нормируется*» [10].

Для систем вентиляции, использующих в теплый период года термодинамический *потенциал наружного приточного воздуха, время необеспеченности* параметров (нормируемых значений температуры воздуха в объекте) составит порядка 440 часов в течение календарного года, чему соответствует коэффициент обеспеченности $K_{об} = 0,95$ [11]. Системы вентиляции с адиабатным (испарительным) охлаждением наружного приточного воздуха при таком же коэффициенте обеспеченности имеют *более низкие* значения основных расчетных показателей, так как испарительное охлаждение воздуха позволяет увеличить рабочую разность температур между внутренним и наружным приточным воздухом [2, 7].

При использовании СОМ с охлаждением наружного воздуха (систем кондиционирования – СК) коэффициент обеспеченности $K_{об} = 0,98$, чему соответствует *время необеспеченности* параметров, нормируемых в объекте, порядка 180 часов в течение календарного года [11]. Использование технических средств искусственного охлаждения воздуха позволяет существенно сократить (по сравнению с системами вентиляции – СВ) расход приточного воздуха. Однако для этого необходимы дополнительные (по сравнению с СВ) затраты на его охлаждение.

Если по заданию Заказчика на проектирование СОМ, необходимо поддерживать нормируемые параметры в объекте при *любых вероятных* значениях наружных климатических параметров, то коэффициент обеспеченности $K_{об} = 1$, а в качестве *расчетных параметров наружного воздуха* должны рассматриваться *экстремальные* для соответствующего района значения (абсолютные минимум и максимум температуры наружного воздуха).

Положенный в основу выбора НРП принцип остается с годами неизменным. Уточняются только количественные характеристики, связанные с требованиями к системе (в частности, отмененное понятие о классах кондиционирования [14]) и климатическим параметрам наружного климата [11].

Традиционно (по аналогии с американской практикой) различают наружные расчетные параметры А, Б и (ранее использовавшиеся параметры В) [9, 10], в зависимости от возможной *продолжительности* отклонения (необеспеченности, нарушения) параметров микроклимата в помещении.

Экономическая целесообразность такого подхода очевидна. Климатические параметры наружного климата всегда *изменчивы* (как в течение астрономического года, так и в долгосрочной перспективе), что приводит к неопределенности возможных затрат на сооружение СОМ.

В настоящее время НРП предписывается определять по Своду правил [10] в зависимости от значений коэффициентов обеспеченности по периодам года (холодному и тепловому). При этом Свод Правил [10] допускает принимать значения НРП в соответствии с техническим заданием на проектирование, однако не оговаривает возможность потребителя (заказчика технического решения СОМ) иметь всестороннюю информацию о выполненных разработчиком проекта различных вариантах, связанных с НРП, обеспеченностью параметров и соответствующих им необходимых ресурсов, в частности, расходов теплоты и холода.

При этом в нормах проектирования СОМ [10] отсутствуют указания или рекомендации о том, как выполнить *количественную оценку* влияния выбранных НРП на *степень обеспеченности* температуры воздуха в помещении (по величине ее отклонения от требуемых значений и продолжительности во времени), а также

связанных с этим обстоятельством расчетных величин необходимого потребления теплоты на нагрев воздуха в холодный период и холода для снижения температуры наружного воздуха в теплый период года.

Попытаемся выяснить эту взаимосвязь, пояснив предложенный подход на примере, приведенном далее.

Рассмотрим некоторый характерный строительный модуль при следующих исходных условиях.

– расчетная температура внутреннего воздуха соответствует оптимальным значениям и составляет: для холодного периода года $t_{в,мин}=20\text{ }^\circ\text{C}$,

для теплого периода года $t_{в,мак}=25\text{ }^\circ\text{C}$;

– климатические условия наружного воздуха соответствуют умеренному климатическому району по данным ГОСТ [13];

– рабочий перепад температур (по условиям воздухораспределения) принят равным

$(t_g - t_n) = 5\text{ }^\circ\text{C}$;

– расчеты выполнены для расхода наружного приточного воздуха, равного $G_g = 1\text{ кг/с}$

Удельный (на 1 кг/с) расчетный расход *теплоты* определяется по зависимости [1]:

$$q = c_g G_g (t_{в,мин} - t_{н,р.}) - Q_{ном}$$

где: c_g – удельная теплоемкость воздуха, $c_g = 1\text{ кДж/кг}\cdot\text{ }^\circ\text{C}$; $t_{н,р.}$ – наружная расчетная температура в холодный период; $Q_{ном}$ – минимальная тепловая нагрузка в помещении, $Q_{ном} = 0$.

Удельный (на 1 кг/с) расчетный расход *холода* определяется следующим образом [16]:

$$q = c_g G_g (t_{в,мак} - t_n) + c_g G_g (t_{н,р.} - t_{в,мак.})$$

где: $t_{н,р.}$ - наружная расчетная температура в теплый период.

Результаты расчетов для холодного периода года представлены в табл. 4, для теплого периода в табл. 5.

Таблица 4

Результаты расчетов для холодного периода года

Интервалы Температуры	-45 -40	-40 -35	-35 -30	-30 -25	-25 -20	-20 -15	-15 -10	-10 -5	-5 0	0 5	5 10	10 15	15 20	20 25	25 30	30 35
Удельный расход теплоты, кВт	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0	5	10	15
Продолжительность (ч/год)	1	3	11	39	136	266	550	842	1256	1396	1059	1289				
Сумма (часы за год)	1	4	15	54	190	456	1006	1848	3104	4500	5559	6848				
Коэффициент необеспеченности, (%)	0	0,1	0,2	0,6	3,0	7,0	14	27	45	66	81	100				
Коэффициент обеспеченности $K_{об}$, (%)	100	99,9	99,8	99,4	97	93	86	73	55	34	19	0				

Таблица 5

Результаты расчетов для теплого периода года

Интервалы температуры	-45 -40	-40 -35	-35 -30	-30 -25	-25 -20	-20 -15	-15 -10	-10 -5	-5 0	0 5	5 10	10 15	15 20	20 25	25 30	30 35
Удельный расход холода, кВт														5,0	10,0	15,0
Продолжительность (ч/год) Сумма (часы за год)														594 734	160 181	21 21
Коэффициент необеспеченности, (%) Коэффициент обеспеченности <i>Коб</i> , (%)														14 76	2,5 97,5	0 100

Приведенные в таблицах значения «сезонных» коэффициентов обеспеченности определяются следующим образом:

– для холодного периода года:

$$K_{об}^{(х)} = 1 - (\Sigma \Delta T_i / \Sigma \Delta T_{t_{hi} < t_{ni} = 15^{\circ}C})$$

– для теплого периода года:

$$K_{об}^{(т)} = 1 - (\Sigma \Delta T_i / \Sigma \Delta T_{t_{hi} > t_{ni} = 20^{\circ}C})$$

где: $\Sigma \Delta T_i$ – сумма продолжительности диапазона наружных температур по периодам года, (ч/год); $\Sigma \Delta T_{t_{hi} < t_{ni} = 15^{\circ}C}$, $\Sigma \Delta T_{t_{hi} > t_{ni} = 20^{\circ}C}$ – сумма продолжительности температур для соответственно холодного и теплого периода (ч/год).

По результатам всех расчетов построен сводный график (рис. 1) который позволяет определить:

- значения коэффициентов обеспеченности от наружной температуры отдельно для холодного и теплого периодов года;
- при известной наружной расчетной температур единовременные расходы теплоты или холода, а также соответствующие им коэффициенты обеспеченности;
- при заданных коэффициентах обеспеченности, можно определить наружные расчетные температуры и единовременные расчетные расходы теплоты и холода.

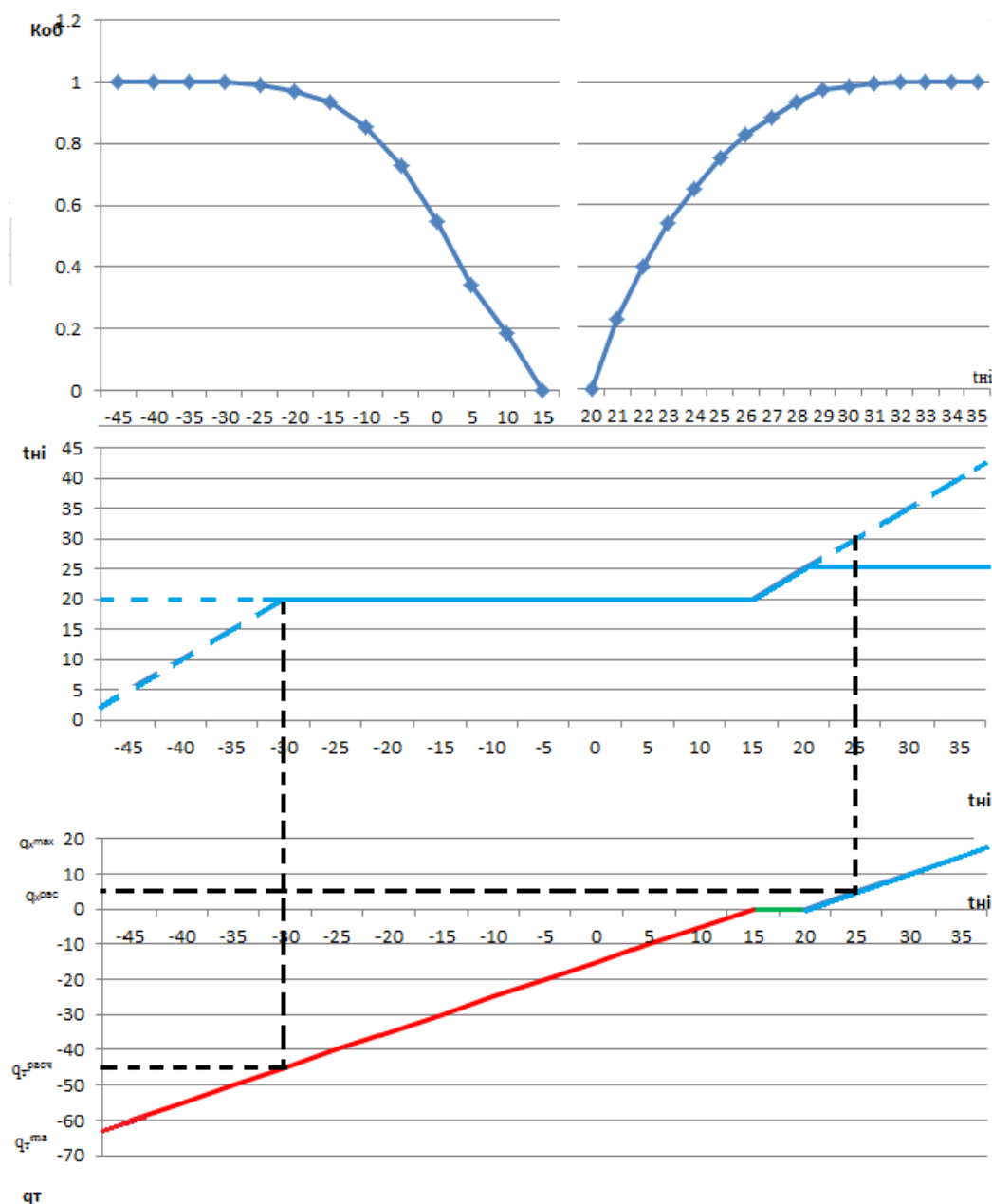


Рис. 1. Сводный график результатов для умеренного климата

Заключение

Последовательное рассмотрение исходных условий объекта позволяет обоснованно рассматривать возможные варианты технических решений систем обеспечения микроклимата. В зависимости от конкретных условий возможно применение систем без искусственного охлаждения воздуха (систем вентиляции), так и систем с «машинным» охлаждением (систем кондиционирования). Использование сезонных коэффициентов обеспеченности позволяет оценивать не только функциональные показатели технических решений систем, но и определять расчетные расходы теплоты или холода.

Литература

1. Рымкевич А.А. Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха. Из-во «АВОК СЕВЕРО-ЗАПАД». СПб.:2003. – 272 с.
2. Белова Е.М. Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях. – М.: Евроклимат, 2006. – 640 с.

3. Белова Е.М. Системы кондиционирования воздуха с чиллерами и фэнкойлами. – М.: Евроклимат, 2003. – 400с.
4. Кокорин О.Я. Современные системы кондиционирования воздуха. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2003. – 278 с.
5. Сотников А.Г. Проектирование и расчет систем вентиляции и кондиционирования воздуха // Полный комплекс требований, исходных данных и расчетной информации для СО, СПВ, СКВ, СГВС и СХС (в 2-х томах с продолжением). Том 1. СПб., 2013. 423 с.: ил.
6. Баркалов Б.В., Карпис Е.Е. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях. – М.: Стройиздат, 1982. – 312 с.
7. Богословский В.Н., Кокорин О.Я., Петров Л.В. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение. – М.: Стройиздат, 1985. – 416с.
8. Архипов Г.В., Архипов В.Г. Автоматизированные установки кондиционирования воздуха. – М.: Энергия, 1975. – 200 с.
9. Григорьев А.Ю., Григорьев К.А., Савенко Н.А., Каргальский К.А., Мацак А.Г., Сахончик Е.С. Постановка задачи тепломассообмена в помещениях, оснащенных принудительной вентиляцией // Вестник Международной академии холода. 2016. № 3. С.78-81.
10. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3-х ч. Ч. 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 1 /В.Н. Богословский, А.И. Пирумов, В.Н. Посохин и др.; Под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1992. – 319 с.
11. Архипов Г.В., Архипов В.Г. Автоматическое регулирование поверхностных теплообменников. – М.: Энергия, 1971. – 304 с.

References

1. Rymkevich A.A. Sistemnyi analiz optimizatsii obshcheobmennoi ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukha. Iz-vo «AVOK SEVERO-ZAPAD». SPb.:2003. – 272 p.
2. Belova E.M. Tsentral'nye sistemy konditsionirovaniya vozdukha v zdaniyakh. – М.: Evroklimat, 2006. – 640 p.
3. Belova E.M. Sistemy konditsionirovaniya vozdukha s chillerami i fenkoilami. – М.: Evroklimat, 2003. – 400p.
4. Kokorin O.Ya. Sovremennyye sistemy konditsionirovaniya vozdukha. – М.: Izdatel'stvo fiziko-matematicheskoi literatury, 2003. – 278 p.
5. Sotnikov A.G. Proektirovanie i raschet sistem ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukha // Polnyi kompleks trebovaniy, iskhodnykh dannykh i raschetnoi informatsii dlya SO, SPV, SKV, SGVS i SKhS (v 2-kh tomakh s prodolzheniem). Tom 1. SPb., 2013. 423 p.
6. Barkalov B.V., Karpis E.E. Konditsionirovanie vozdukha v promyshlennykh, obshchestvennykh i zhilykh zdaniyakh. – М.: Stroizdat, 1982. – 312 p.
7. Bogoslovskii V.N., Kokorin O.Ya., Petrov L.V. Konditsionirovanie vozdukha i kholodosnabzhenie. – М.: Stroizdat, 1985. – 416 p.
8. Arkhipov G.V., Arkhipov V.G. Avtomatizirovannyye ustanovki konditsionirovaniya vozdukha. – М.: Energiya, 1975. – 200 p.
9. Grigor'ev A.Yu., Grigor'ev K.A., Savenko N.A., Kargal'skii K.A., Matsak A.G., Sakhonchik E.S. Postanovka zadachi teplomassoobmena v pomeshcheniyakh, osnashchennykh prinuditel'noi ventilyatsiei // Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda. 2016. № 3. P.78-81.
10. Vnutrennie sanitarno-tekhnicheskie ustroystva. V 3-kh ch. Ch. 3. Ventilyatsiya i konditsionirovanie vozdukha. Kn. 1 /V.N. Bogoslovskii, A.I. Pirumov, V.N. Posokhin i dr.; Pod red. N.N. Pavlova i Yu.I. Shillera. – 4-e izd., pererab. i dop. – М.: Stroizdat, 1992. – 319 з.
11. Arkhipov G.V., Arkhipov V.G. Avtomaticheskoe regulirovanie poverkhnostnykh teploobmennikov. – М.: Energiya, 1971. – 304 p.

Статья поступила в редакцию 23.03.2017 г.