

УДК 628.8 + 697.9

Сравнительная оценка годовых энергозатрат в центральной и децентрализованной системах кондиционирования воздуха

Канд. техн. наук, доц. **Коченков Н.В.** kochenkov63@mail.ru

Коченков В.Н. rddr@mail.ru

Университет ИТМО

191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

В статье рассматриваются децентрализованные системы кондиционирования воздуха (СКВ), представляющие собой сочетание центрального кондиционера (ЦК) и местной системы. Дано понятие смежной системы микроклимата. В качестве систем смежных систем в статье рассматриваются воздухоохладители и адиабатные увлажнители. Показано, что использование децентрализованных СКВ позволяет существенно уменьшить габариты ЦК по сравнению с центральными СКВ за счет увеличения установочной производительности смежной системы. Но в тоже время из приведенных примеров наглядно видно, насколько существенно возрастают годовые расходы потребляемых энергоресурсов, если вместо центральной использовать децентрализованную СКВ. Проанализирована значимость использования термодинамического потенциала воздуха второй рециркуляции. На примерах показано, что его использование позволяет существенно сократить расходы потребляемой теплоты и «холода» без увеличения габаритов ЦК.

Ключевые слова: система кондиционирования воздуха (СКВ), центральная СКВ, децентрализованная СКВ, смежные системы микроклимата, воздухоохладитель, адиабатный увлажнитель, годовые расходы теплоты и холода.

Comparative assessment of annual energy consumption in the central and decentralized air conditioning systems

Ph.D. **Kochenkov N.V.** kochenkov63@mail.ru

Kochenkov V.N. rddr@mail.ru

University ITMO

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

In article the decentralized air conditioning system (ACS) representing a combination of the central conditioner (CC) and local system are considered. The concept of adjacent system of a microclimate is given. As systems of adjacent systems in article air coolers and adiabatic humidifiers are considered. It is shown that use of the decentralized hard currencies allows to reduce significantly dimensions of the Central Committee in comparison with the central hard currencies at the expense of increase in adjusting productivity of adjacent system. But in too time from the given examples it is visually visible, annual expenses of the consumed energy resources how significantly increase if instead of central to use the decentralized hard currency. The importance of use of thermodynamic potential of air of the second recirculation is analysed. On examples it is shown that its use allows to cut down significantly expenses of

the consumed warmth and "cold" without increase in dimensions of the Central Committee.

Keywords: the air conditioning system (ACS), the central hard currency, the decentralized hard currency, adjacent systems of a microclimate, an air cooler, an adiabatic humidifier, annual expenses of warmth and cold.

Общие сведения о смежных системах микроклимата

Материал статьи излагается применительно к системе кондиционирования воздуха (СКВ), обслуживающей объект, состоящий из одного помещения или нескольких, но с однохарактерными значениями нагрузок в них (объект I типа [1]). Для СКВ, обслуживающих объект, состоящий из нескольких помещений с разнохарактерными нагрузками в них (объект II типа [1]), указаны лишь некоторые частные особенности. При системном же подходе к исследованию СКВ, обслуживающих объекты II типа, требуется самостоятельное их рассмотрение [2, 3, 4, 5].

Сочетание центрального кондиционера (ЦК) и местной системы (МС) микроклимата названо в работе [1, С.59] децентрализованной СКВ. В качестве МС, входящих в состав децентрализованной СКВ, рассматриваются смежные системы¹, под которыми понимаются такие из МС микроклимата, которые выполняют совместно с ЦК одну и ту же целевую задачу [7]. Режимы функционирования смежных систем могут корректироваться в интересах ЦК.

Задача, возлагаемая на смежные системы микроклимата при их совместном функционировании с ЦК, заключается в регулировании тепловлажностных и (или) газовых нагрузок в помещении, приходящихся на ЦК. Реализуется это регулирование либо путем перераспределения уже объективно существующих нагрузок в помещении между центральной и смежной системой, либо за счет искусственного создания смежными системами дополнительных нагрузок в помещении, компенсация которых также будет возложена на ЦК.

Таким образом, смежные системы являются своеобразными регуляторами нагрузок, приходящихся на ЦК. Это свойство смежных систем является их отличительным признаком от других МС микроклимата. Поскольку смежные системы изменяют нагрузки в помещении, то, следовательно, изменяется и положение исходной термодинамической схемы (ИТС) на *I-d*-диаграмме влажного воздуха. Как известно, ИТС является графической формой представления информации об этих нагрузках. В статье термин «ИТС» является одним из ключевых.

В общем случае к смежным системам относятся местные СКВ, использующие наружный воздух, системы отопления, местные рециркуляционные системы охлаждения, увлажнения, осушки и очистки. В статье в качестве смежных систем рассматриваются только местные рециркуляционные системы адиабатного увлажнения или охлаждения воздуха. Оборудование этих смежных систем, в котором непосредственно реализуется процесс адиабатного увлажнения или охлаждения рециркуляционного воздуха, будем называть в соответствии с выполняемой ими функцией – адиабатным увлажнителем (АУ) или воздухоохладителем (ВО), а рассматриваемые конфигурации СКВ, использующие это оборудование, обозначать соответственно как «ЦК + АУ» или «ЦК + ВО» (в общем случае как «ЦК + АУ(ВО)»)

Принцип совместной работы ЦК и АУ (ВО) впервые был изложен в работе [1] и получил

¹ Хотя термин «смежная система» не использовался в работе [1], тем не менее, под МС в составе децентрализованной СКВ подразумевались именно смежные системы. Термин «смежные системы» микроклимата начинает использоваться несколько позднее [6].

дальнейшее развитие в работах [7, 8, 9].

Остальные из МС микроклимата (системы подпора воздуха, системы местной вытяжки, воздушно-тепловые завесы) не относятся к смежным, поскольку их режимы функционирования не могут корректироваться в интересах ЦК, так как определяются другими факторами, например, для системы подпора воздуха – величиной избыточного давления в помещении; для системы местной вытяжки – режимом работы тех технологических систем, которые она непосредственно обслуживает. По характеру влияния на суммарные тепловлажностные и газовые нагрузки в помещении эту группу МС микроклимата целесообразно отнести к источникам внутренних возмущающих воздействий на нормируемые параметры воздушной среды в помещении.

Децентрализованные СКВ, имеющие в своем составе АУ или ВО, могут рассматриваться как для объектов I, так и II типов. Однако, в зависимости от типа объекта, цель регулирования нагрузок в помещении за счет смежных систем различается.

Так, для объекта I типа эта цель заключается в том, чтобы за счет изменения тепловой или влажностной нагрузки, приходящейся на ЦК, уменьшить максимальный моментный (за единицу времени) расход воздуха через ЦК, обозначаемый как m_K^{\max} , по значению которого производится выбор его типоразмера. В пределе значение m_K^{\max} может быть уменьшено до минимально-неизбежного расхода наружного воздуха $m_{\dot{H}}$.

Для объекта же II типа цель регулирования нагрузок в помещениях за счет использования смежных систем в виде АУ или ВО заключается в их выравнивании с тем, чтобы создать в помещениях однохарактерные нагрузки и таким образом обеспечить работу общего ЦК на эти помещения без зональных (концевых) доводчиков.

Неизбежные дополнительные энергозатраты в децентрализованной СКВ

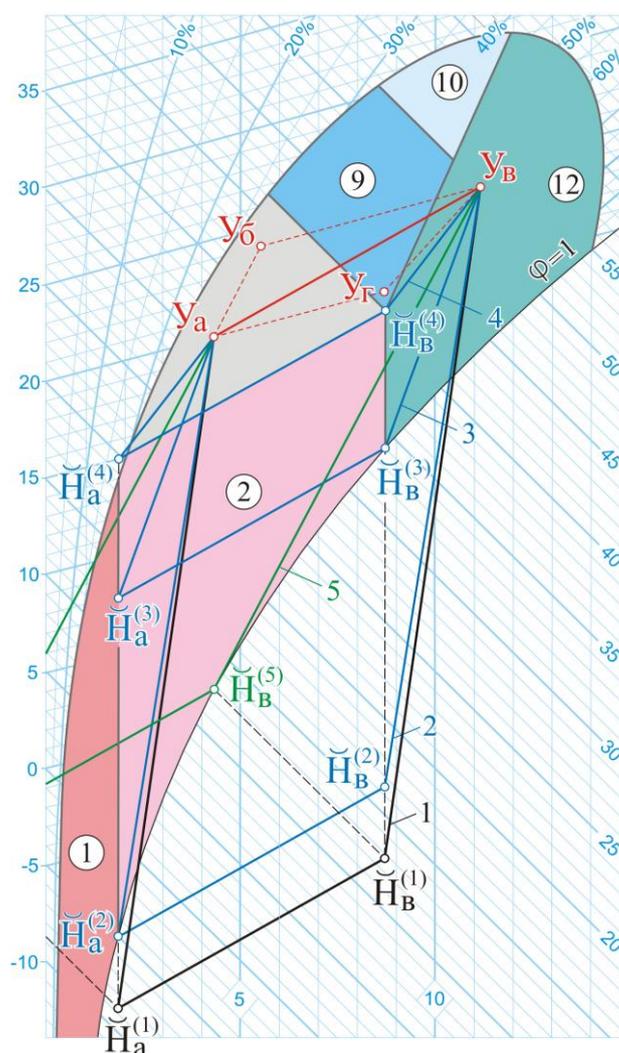
Возможность уменьшить значение максимального моментного расхода воздуха через ЦК m_K^{\max} за счет увеличения установочной производительности смежной системы в виде АУ или ВО связана с дополнительными затратами энергоресурсов, которые можно назвать неизбежными, поскольку их нельзя исключить, даже при организации функционирования СКВ по энергосберегающим режимам. Покажем на конкретном примере, насколько существенными могут оказаться эти дополнительные затраты в децентрализованной СКВ, если уменьшать значение m_K^{\max} вплоть до минимально-неизбежного расхода наружного воздуха $m_{\dot{H}}$.

Пример 1. Исходные данные (исходные данные и результаты расчета представлены в удельных значениях, т. е. отнесенных к 1 м^2 площади обслуживаемого помещения): нормируемые параметры воздушной среды в помещении заданы в виде области $Y_a Y_{\delta} Y_b Y_{\Gamma}^2$ (рис. 1) – $t = 20\text{-}24^\circ\text{C}$, $\varphi = 30\text{-}60\%$; тепло- (q_{Π}) и влагоизбытки (W_{Π}) в помещении – $q_{\Pi} = 0,08 \text{ кВт/м}^2$, $W_{\Pi} = 0,005 \text{ г/(с}\cdot\text{м}^2)$; минимально-неизбежный расход наружного воздуха $m_{\dot{H}} = 0,002 \text{ кг/(с}\cdot\text{м}^2)$; максимально целесообразный расход наружного воздуха – $m_{\dot{H}} = 0,0072 \text{ кг/(с}\cdot\text{м}^2)$; географический район – г. Санкт-Петербург. Информация

² Для упрощения построений на $I-d$ -диаграмме вместо области $Y_a Y_{\delta} Y_b Y_{\Gamma}$ используется диагональ $Y_a Y_b$.

по климату для г. Санкт-Петербурга принята в том виде, как это было предложено в работе [10]. Помещение встроенного типа, т. е. его ограждающие конструкции не граничат с окружающей средой и поэтому тепловлажностные нагрузки в таком помещении определяются только внутренними тепловлажностными избытками. СКВ функционирует круглогодично. Запрета на использование рециркуляционного воздуха нет. В ЦК используются традиционные процессы тепловлажностной обработки воздуха. Такие процессы как увлажнение насыщенным паром или осушка твердыми сорбентами [11] здесь не рассматриваются.

Численные значения тепло- и влагоизбытков в помещении и расходов наружного воздуха приняты такими, чтобы в помещении был второй класс нагрузок (на рис. 1 положение ИТС, соответствующее этому классу нагрузок, занимает поз. 1, 2). Это принципиально важно, поскольку смысл использования децентрализованной СКВ в виде «ЦК + АУ(ВО)» для объекта I типа имеет место только при втором (или третьем) классе нагрузок. При первом же или четвертом классе нагрузок такую конфигурацию СКВ принимать во внимание не целесообразно, поскольку уменьшить значение m_K^{\max} за счет использования смежных систем АУ или ВО все равно не удастся.



**Рис. 1. Положения ИТС на *I-d*-диаграмме, соответствующие следующим вариантам СКВ:
1 – «ЦСКВ»; 2, 3, 4 – «ЦК + ВО»; 5 – «ЦК + АУ»**

Примечание к рис. 1. Деление области наружного климата на расчетные зоны выполнено для положения ИТС, соответствующего поз.4, которое будет рассматриваться далее в примере 2.

Требуется рассчитать и сравнить между собой годовые расходы потребляемых энергоресурсов для трех вариантов СКВ: самостоятельно функционирующей ЦСКВ (вариант «ЦСКВ»); ЦК, функционирующий совместно с АУ (вариант «ЦК + АУ») или с ВО (вариант «ЦК + ВО»). Установочная производительность смежных систем АУ и ВО варьируется от нуля (что соответствует варианту «ЦСКВ») до значения, при котором расход m_K^{max} станет равным m_H .

Для решения указанной задачи использована специальная компьютерная программа, разработанная на основе математических моделей, рассмотренных в монографии [7], и метода оптимизации, описанного в работах [12, 13].

Промежуточные результаты расчетов приведены в табл.1, где показана зависимость максимального моментного расхода воздуха через ЦК m_K^{max} (колонка 1) от значений установочных производительностей АУ по воде $w_{AU}^{уст}$ (колонка 2) и ВО по «холоду» $q_{BO}^{уст}$ (колонка 3).

Таблица 1

Зависимость максимального моментного расхода воздуха через ЦК от установочной производительности АУ (ВО)

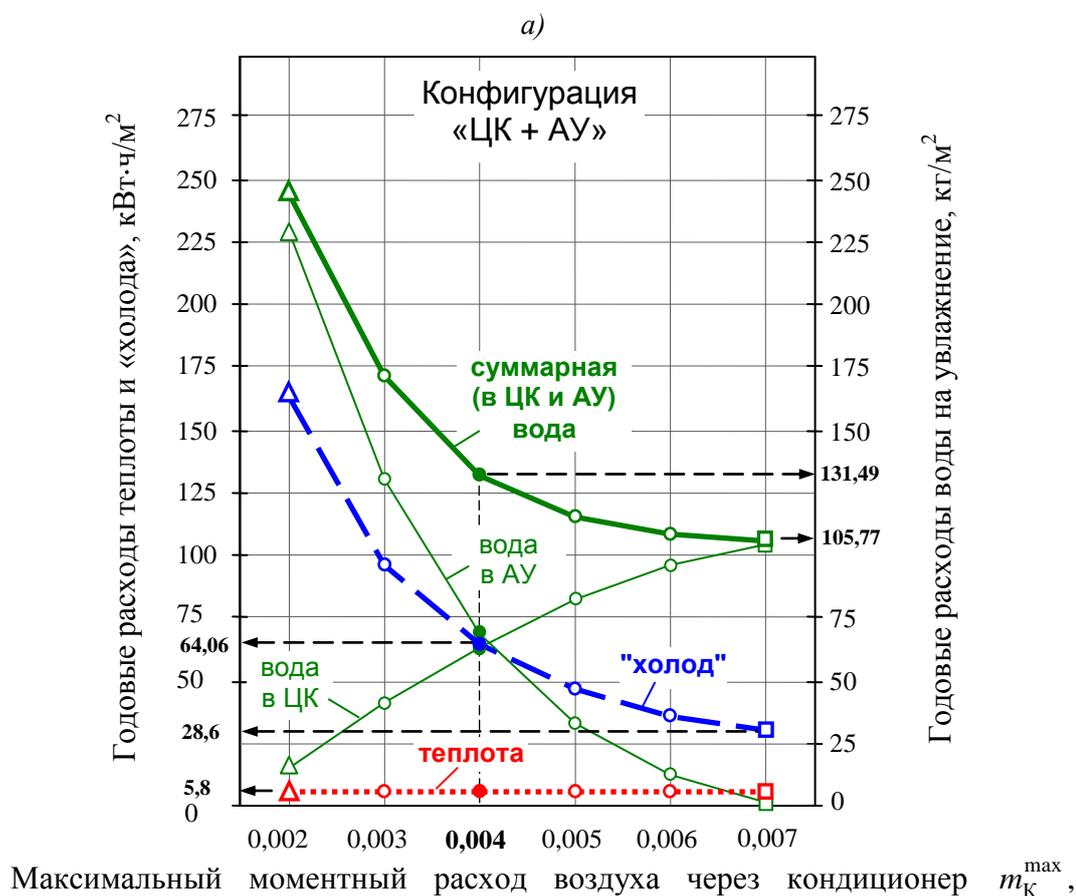
Максимальный моментный расход воздуха через ЦК m_K^{max} , кг/(с·м ²)	Установочная производительность смежной системы	
	АУ $w_{AU}^{уст}$, г/(с·м ²)	ВО $q_{BO}^{уст}$, кВт/м ²
1	2	3
0,002	0,009	0,0427
0,003	0,00796	0,03456
0,004	0,00635	0,0263
0,005	0,00447	0,01798
0,006	0,00246	0,00964
0,007	0,00037	0,00127
0,0072	0	0

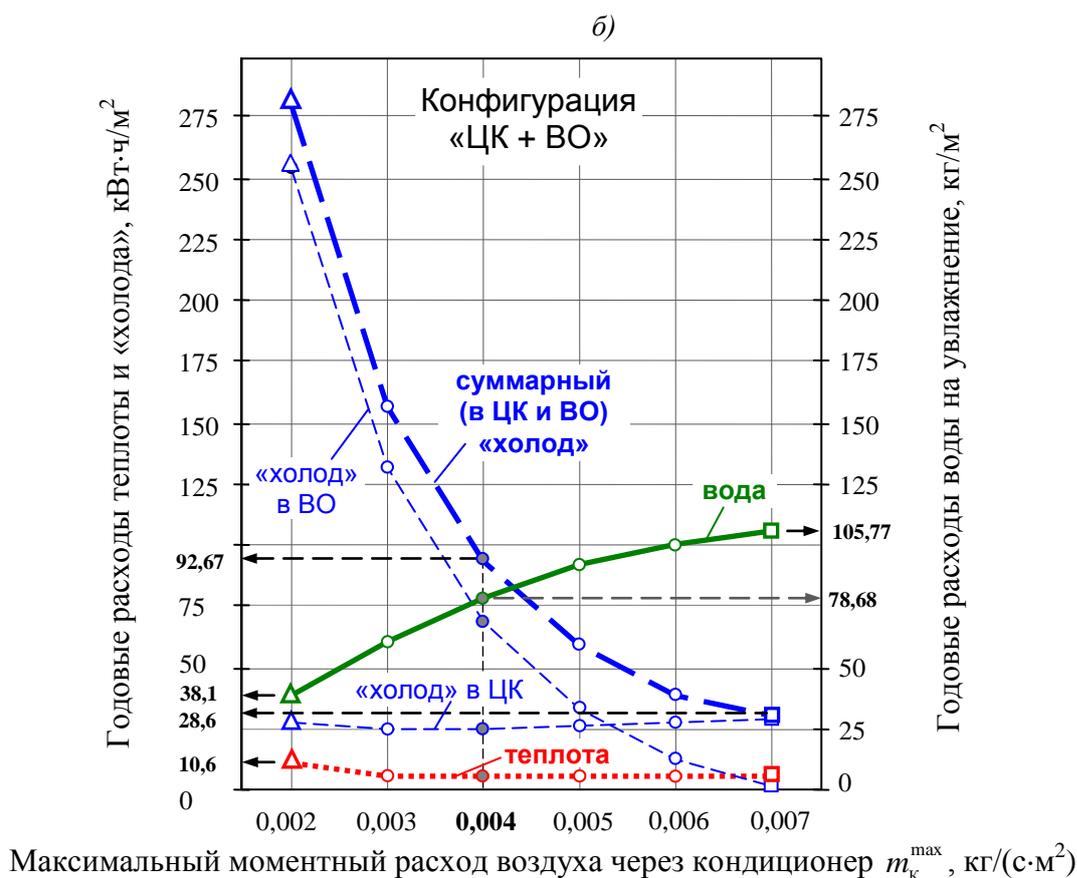
Из табл. 1 видно, что с увеличением установочной производительности АУ или ВО значение m_K^{max} уменьшается. Так, например, при установочных производительностях АУ и ВО, принятых равными 0,00635 г/(с·м²) и 0,0263 кВт/м², соответственно, значение m_K^{max} уменьшается от первоначального, равного 0,0072 кг/(с·м²), до 0,004 кг/(с·м²), а при установочных производительностях АУ и ВО, принятых равными 0,009 г/(с·м²) и 0,0427 кВт/м², соответственно, значение m_K^{max} уменьшается до минимального предела, равного 0,002 кг/(с·м²).

Уменьшение значения m_K^{\max} при увеличении установочной производительности АУ или ВО обусловлено изменением положения ИТС от первоначального, обозначенного поз.1 (см. рис.1), и соответствующего варианту «ЦСКВ», до крайнего верхнего, при котором $m_K^{\max} = m_{\check{H}}$. Это крайнее верхнее положение ИТС будет различным для зимнего и летнего периодов года. Так для варианта «ЦК + ВО» крайнее верхнее положение ИТС обозначено поз. 2 – для зимнего периода, когда энтальпия наружного воздуха I_H меньше энтальпии опорной точки $\check{H}_a^{(2)}$ (т. е. при $I_H < I_{\check{H}_a}^{(2)}$) или поз. 3 – для летнего периода, когда энтальпия наружного воздуха больше энтальпии опорной точки $\check{H}_b^{(3)}$ (т. е. при $I_H > I_{\check{H}_b}^{(3)}$). В интервале $I_{\check{H}_a}^{(2)} < I_H < I_{\check{H}_b}^{(3)}$ ИТС будет занимать определенное промежуточное положение между поз. 2 и поз. 3. Для варианта «ЦК + АУ» крайнее верхнее положение ИТС показано в виде поз. 5 только для летнего периода (когда $I_H > I_{\check{H}_b}^{(5)}$).

Окончательные результаты расчета показаны в графическом виде на рис. 2, где качестве аргумента по оси абсцисс отложен максимальный моментный расход воздуха через ЦК m_K^{\max} , а по оси ординат – значения годовых расходов теплоты и «холода» (левая ось), а также воды на увлажнение (правая ось). Для удобства построения графических зависимостей значения $w_{\text{АУ}}^{\text{уст}}$ и $q_{\text{ВО}}^{\text{уст}}$ приняты такими, чтобы шаг изменения m_K^{\max} по оси абсцисс был равен 0,001 кг/(с·м²).

Значения годовых расходов воздуха (наружного, рециркуляционного, приточного) здесь не приводятся.





**Рис. 2. Зависимость годовых расходов теплоты, «холода» и воды от максимального моментного расхода воздуха через кондиционер m_K^{\max} :
а – для варианта «ЦК + АУ»; б – для варианта «ЦК + ВО»**

Варианту «ЦСКВ» соответствуют точки, занимающие крайнее правое положение (они показаны в виде квадратов). Вариантам «ЦК + АУ» и «ЦК + ВО», у которых значение m_K^{\max} уменьшено до минимально-неизбежного расхода наружного воздуха $m_{\text{н}}$, равного 0,002 кг/(с·м²), соответствуют точки, занимающие крайнее левое положение (они показаны в виде треугольников). Точки, обозначенные кружками, соответствуют расходам энергоресурсов при значениях m_K^{\max} , равных 0,003; 0,004; 0,005; 0,006 кг/(с·м²).

Анализ приведенных на рис. 2, а, б графических зависимостей позволяет сделать следующие выводы.

Во-первых, годовые расходы теплоты в сравниваемых вариантах СКВ остаются одинаковыми и практически не зависят от изменения значения аргумента m_K^{\max} . В графическом виде зависимость расхода теплоты от значений m_K^{\max} показана точечной линией красного цвета.

Во-вторых, наименьшее значение расхода «холода», равное 28,6 кВт·ч/м², имеет место в варианте «ЦСКВ». С уменьшением значения m_K^{\max} расход потребляемого «холода» увеличивается (пунктирная утолщенная линия синего цвета круто поднимается вверх). Причем в варианте «ЦК + ВО» (рис. 2, б) это увеличение расхода «холода» намного существеннее, чем в варианте «ЦК + АУ» (рис. 2, а).

В-третьих, с уменьшением значения m_K^{\max} зависимость для расхода потребляемой воды (сплошная утолщенная линия зеленого цвета) в вариантах «ЦК + АУ» и «ЦК + ВО» ведет себя по-разному: либо резко поднимается вверх – в варианте «ЦК + АУ» (рис. 2,а), либо опускается вниз – в варианте «ЦК + ВО» (рис. 2,б).

Таким образом, уменьшение значения m_K^{\max} за счет увеличения установочной производительности смежной системы связано со следующими дополнительными энергозатратами: по «холоду» и воде – для варианта «ЦК + АУ» (рис. 2,а); по «холоду» – для варианта «ЦК + ВО» (рис. 2,б).

Для ответа на вопрос, почему это происходит, сделаем сечение на рис.2 в плоскости $m_K^{\max} = 0,004 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$. Информация о годовых расходах потребляемых энергоресурсов для этого сечения показана в более детальном виде (по расчетным зонам³) в нижней части табл.2. В верхней части табл.2 приведена информация о суммарных продолжительностях функционирования СКВ в каждой из расчетных зон.

Анализ результатов расчетов, приведенных в табл.2, позволяет сделать вывод о том, что изменение значений потребляемых расходов «холода» и воды наблюдается только в расчетных зонах 8а-в, 9, 10R (для воды) и 11. Это изменение обусловлено влиянием следующих двух факторов.

Таблица 2

Расходов теплоты, «холода» и воды при $m_K^{\max} = 0,004 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ по расчетным зонам и за год

	Варианты СКВ	Расчетные зоны						∑ за год
		1R	8Ra	8а-в	9	10R	11	
		Продолжительность расчетных зон, ч						
	«ЦСКВ»			6726	672		1	8760
	«ЦК + АУ»	484	786	5588	1677	91	134	
	«ЦК + ВО»			6524	769		106	
		Расходы теплоты, «холода», воды по расчетным зонам и за год						
Теплота, кВт·ч/м ²	«ЦСКВ»							5,8
	«ЦК + АУ»	5,8	0	0	0	0	0	
	«ЦК + ВО»							
«Холод», кВт·ч/м ²	«ЦСКВ»			0	20,72		0,05	28,6
	«ЦК + АУ»	0	0	0	50,39	7,83	5,84	64,06
	«ЦК + ВО»			42,82 (0+ +42,82)	36,66 (16,51+ +20,15)		5,36 (2,58+ +2,78)	92,67
Вода, кг/м ²	«ЦСКВ»			87,11	11,49	0	0	105,77
	«ЦК + АУ»	3,65	3,52	72,06 (47,07+ +24,99)	47,17 (9,2+ 37,97)	2,06 (0+ +2,06)	3,03 (0+ +3,03)	131,49
	«ЦК + ВО»			63,63	7,88	0	0	78,68

³ Обозначение расчетных зон принято таким, как в работе [7]. На рис.1 эти расчетные зоны не показаны.

Первый фактор связан с изменением положения границ между расчетными зонами *8a-в*, *9*, *11*, в результате чего происходит перераспределение продолжительностей функционирования СКВ в пределах этих зон таким образом, что время работы системы с потреблением «холода» в расчетных зонах *9* и *11* увеличивается за счет уменьшения времени работы системы без потребления «холода» в расчетной зоне *8a-в*. Так, например, в варианте «ЦК + АУ» продолжительность функционирования системы в расчетной зоне *9* увеличивается по сравнению с вариантом «ЦСКВ» с 672 до 1677 ч, а в расчетной зоне *11* – с 1 до 134 ч, за счет того, что пропорционально сокращается продолжительность функционирования системы в расчетной зоне *8a-в* (с 6726 до 5588 ч).

Из расчетных зон с потреблением «холода» только в зоне *10R* продолжительность функционирования всех рассматриваемых вариантах СКВ остается постоянной и составляет 91 ч. Это объясняется тем, что граница этой расчетной зоны – изоэнтальпа, проходящая через опорную точку с координатами $t = 24^{\circ}\text{C}$, $\phi = 60\%$ и обозначенную на рис. 1 как U_v , не изменяет своего положения.

Второй фактор, оказывающий негативное влияние на изменение значений расхода «холода», связан с тем, что в децентрализованной СКВ из-за уменьшения значения m_K^{\max} уменьшается значение максимального расхода наружного воздуха $m_{\text{н}}$. Это не позволяет эффективно использовать естественный (природный) «холод», которым располагает наружный воздух. Так, в расчетной зоне *9*, где, как известно, целесообразно использовать максимальный расход наружного воздуха, уменьшение значения m_K^{\max} , а следовательно и значения $m_{\text{н}}$, ведет к недоиспользованию термодинамического потенциала наружного воздуха и увеличению потребления искусственного «холода». Поэтому в расчетной зоне *9* годовой расход «холода» вместо $20,72 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ для варианта «ЦСКВ» составляет: $50,39 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ – для варианта «ЦК + АУ» и $36,66 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ – для варианта «ЦК + ВО». Кроме того, недоиспользование термодинамического потенциала наружного воздуха из-за уменьшения значения m_K^{\max} ведет к тому, что в расчетной зоне *8a-в*, в которой для варианта «ЦСКВ» не требовалось потребления «холода», в варианте «ЦК + ВО» появляется необходимость в искусственном «холоде», который используется в ВО. По этой причине расход «холода» в расчетной зоне *8a-в* для варианта «ЦК + ВО» составляет $42,82 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$, при этом весь этот «холод» расходуется в ВО.

В табл. 2 для расчетных зон *8a-в*, *9*, *10R*, *11* более детально приведена информация по расходам «холода» (для варианта «ЦК + ВО») и воды (для варианта «ЦК + АУ»). В скобках цифры, выделенные курсивом, относятся: первая – к ЦК, вторая – к смежной системе. Это сделано для того, чтобы пояснить, из чего складываются результирующие значения расходов «холода» и воды в этих расчетных зонах.

Следует обратить внимание на то, как ведет себя зависимость для расхода потребляемой воды («суммарная вода»), показанная на рис. 2,а. Наглядно видно, что с уменьшением значения m_K^{\max} расход воды на увлажнение воздуха увеличивается. Такой результат не стыкуется с выводом, сформулированным в работе [1, С.187, верхний абзац], в котором утверждается, что «использование местных систем увлажнения не влияет на расход воды из внешнего источника».

Причина этого расхождения состоит в том, что приведенный в работе [1] вывод справедлив не для всех точек климата, а только для тех из них, для которых в варианте «ЦСКВ» требуется увлажнение воздуха. Если же в варианте «ЦСКВ» для каких-то определенных точек климата не требуется увлажнение потребляемого наружного воздуха (а наоборот – необходима его осушка), то в варианте «ЦК + АУ» все равно даже для этих точек климата задействуется АУ, что ведет к перерасходу воды, при этом существенно увеличивающемуся, когда значение m_K^{\max} приближается к $m_{\text{н}}$. Для этих точек

климата в варианте «ЦК + АУ» будут иметь место взаимопротивоположные процессы обработки воздуха, связанные с водой: в ЦК – осушка воздуха, а в АУ – потребление воды на увлажнение.

Таким образом, децентрализованные СКВ, безусловно, позволяют существенно уменьшить габариты ЦК по сравнению с центральными СКВ. Однако это связано со значительными дополнительными энергозатратами, которые являются неизбежными, и они должны обязательно учитываться при оценке качества принимаемого технического решения по СКВ.

Необоснованные перерасходы энергоресурсов в децентрализованной СКВ

Помимо неизбежных дополнительных энергозатрат, о которых шла речь выше, при функционировании децентрализованной СКВ могут иметь место еще необоснованные перерасходы энергоресурсов, которые при правильном выборе технологии обработки воздуха могут быть исключены вовсе.

Рассмотрим этот вопрос подробнее на следующем примере.

Пример 2. Исходные данные остаются теми же, что и в примере 1. Кроме того, рассматривается децентрализованная СКВ только в виде конфигурации «ЦК + ВО», в которой расход $m_{\text{К}}^{\text{max}}$ уменьшен до $m_{\text{Н}}$. В ЦК используется вторая рециркуляция $R2$ (т. е. $R2 \neq 0$). Поэтому приточный воздух от ЦК – $m_{\text{П}}^{\text{ЦК}}$ равен сумме минимально-неизбежного расхода наружного воздуха $m_{\text{Н}}$ и воздуха второй рециркуляции $m_{R2}^{\text{ЦК}}$, т. е. $m_{\text{П}}^{\text{ЦК}} = m_{\text{Н}} + m_{R2}^{\text{ЦК}}$.

Годовые расходы потребляемой теплоты и «холода» (раздельно для ЦК и ВО) для этого варианта децентрализованной СКВ были рассчитаны в примере выше (см. на рис. 2,б точки, обозначенные треугольником при значении аргумента $0,002 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$). Численные их значения по расчетным зонам и в целом за год приведены в таблице 3, в строчках, обозначенных как $R2 \neq 0$.

Требуется проанализировать, как могут измениться значения этих расходов, если отказаться от использования воздуха $R2$ в ЦК ($R2 = 0$) и тем самым приравнять расход приточного воздуха от ЦК $m_{\text{П}}^{\text{ЦК}}$ к минимально-неизбежному расходу наружного воздуха $m_{\text{Н}}$. Таким образом требуется сравнить между собой годовые расходы энергоресурсов, потребляемых в двух вариантах конфигурации «ЦК + ВО»: первый вариант, когда $R2 \neq 0$; второй – когда $R2 = 0$.

Итак, для того чтобы отказаться от использования $R2$ в ЦК необходимо за счет увеличения установочной производительности ВО по «холоду» $q_{\text{ВО}}^{\text{уст}}$ уменьшить тепловую нагрузку на ЦК настолько, чтобы допустимое отклонение температуры приточного от ЦК воздуха в струе от нормируемой $\Delta t_{\text{П}}$ стало равно заданному значению. Для $\Delta t_{\text{П}} = 5^\circ\text{C}$ значение $q_{\text{ВО}}^{\text{уст}}$ должно быть увеличено с $0,0427 \text{ кВт}/\text{м}^2$ (см. табл. 1) до $0,0572 \text{ кВт}/\text{м}^2$ (на 30%). В этом случае на ЦК будет приходиться оставшаяся тепловая нагрузка, равная: $0,08 - 0,0572 = 0,0228 \text{ кВт}/\text{м}^2$, а ИТС займет положение, соответствующее поз. 4 (см. рис. 1), при котором опорные точки $\check{H}_{\text{а}}^{(4)}$ и $\check{H}_{\text{в}}^{(4)}$ поднимутся вверх по линиям постоянных влагосодержаний $d_{\check{H}_{\text{а}}}$ и $d_{\check{H}_{\text{в}}}$ до изотерм $t_{\check{H}_{\text{а}}^{(4)}} = t_{y_{\text{а}}} - \Delta t_{\text{П}} = 15^\circ\text{C}$, $t_{\check{H}_{\text{в}}^{(4)}} = t_{y_{\text{в}}} - \Delta t_{\text{П}} = 19^\circ\text{C}$. Такое положение ИТС должно оставаться постоянным в течение года.

На рис. 1 показано, как должна делиться область наружного климата на расчетные зоны при положении ИТС, соответствующей поз. 4.

Результаты расчета годовых расходов теплоты и «холода», потребляемых в децентрализованной СКВ, при отказе от использования воздуха $R2$ в ЦК ($R2 = 0$) приведены в табл.3. Расходы «холода» здесь показаны раздельно для ЦК и ВО.

Анализ результатов, приведенных в табл. 3, позволяет дать ответ на поставленный выше вопрос о том, как могут измениться расходы энергоресурсов, потребляемых в децентрализованной СКВ, если отказаться от использования воздуха $R2$ в ЦК. Так, годовые расходы теплоты увеличиваются в 20 (двадцать!) раз: с 10,6 до 221,7 кВт·ч/м², а расходы «холода» – в 1,8 раза: с 280,1, равной сумме (26,9+253,2) кВт·ч/м², до 517,9, равной сумме (16,8+501,1) кВт·ч/м². Годовой расход воды, правда, при этом уменьшится в 5 раз: с 38,1 кг/м² до 7,7 кг/м² (если это значимо для данного географического района).

Таблица 3

Расходы теплоты и «холода» в «ЦК + ВО» при использовании воздуха $R2$ в ЦК ($R2 \neq 0$) и при отказе от его использования ($R2 = 0$)

	Варианты «ЦК + ВО»	Расчетные зоны							Σ за год
		1	2	б	8a-в	9	10	12	
		Продолжительность расчетных зон, ч							
	$R2 \neq 0$	871	0	47	6012	1739	91	0	8760
	$R2 = 0$	1302	6126	304	0	166	12	850	
		Расходы теплоты и «холода» по расчетным зонам и за год							
Теплота, кВт·ч/м ²	$R2 \neq 0$	10,6	0	0	0	0	0	0	10,6
	$R2 = 0$	71,4	141,4	0	0	0	0	8,9	221,7
«Холод» в ЦК, кВт·ч/м ²	$R2 \neq 0$	0	0	0	0	23,0	3,9	0	26,9
	$R2 = 0$	0	0	0	0	1,3	0,3	15,2	16,8
«Холод» в ВО, кВт·ч/м ²	$R2 \neq 0$	6,9	0	2,0	166	74,2	3,9	0	253,2
	$R2 = 0$	74,5	350,4	17,4	0	9,5	0,7	48,6	501,1

Причину столь существенных перерасходов теплоты и «холода» лучше всего пояснить графически. Заключается она в том, что для ИТС, занимающей поз. 4 (см. рис.1), ее опорные точки $\check{H}_a^{(4)}$ и $\check{H}_b^{(4)}$ поднялись на $I-d$ -диаграмме настолько высоко, что существенно изменились границы расчетных зон, а, следовательно, и продолжительности функционирования СКВ в этих расчетных зонах. В верхней части табл.3 видно как изменяются продолжительности расчетных зон в зависимости от того, используется воздух $R2$ в ЦК ($R2 = 0$) или нет ($R2 \neq 0$). Так, например, при использовании воздуха $R2$ в ЦК расчетная зона 2, в которой, как известно, потребляется теплота, отсутствует. При отказе же от использования $R2$ в ЦК эта зона появляется, и ее суммарная продолжительность за год составляет 6126 ч. Кроме того, существенно увеличивается продолжительность расчетной зоны 1 (с 871 до 1302 ч), и появляется расчетная зона 12, в которых также потребляется теплота. Расчетная зона 8a-в, в которой не требуется ни теплоты, ни «холода», в первом случае (при $R2 \neq 0$) составляет большую часть года

(6012 ч), а во втором случае (при $R2 = 0$) – отсутствует вовсе.

С «нерациональным» изменением положений опорных точек точки $\check{H}_a^{(4)}$ и $\check{H}_b^{(4)}$ связана также основная причина перерасхода «холода». Поясним эту взаимосвязь.

Так, в обоих вариантах децентрализованной СКВ (как при $R2 \neq 0$, так и при $R2 = 0$) ВО будет работать в течение года. Однако в первом случае, когда $R2 \neq 0$, ВО будет работать с переменной производительностью. Поэтому положение ИТС будет изменяться в течение года от крайнего нижнего, соответствующего поз. 2, до крайнего верхнего – соответствующего поз. 3. Во втором же случае, когда $R2 = 0$, ВО должен постоянно работать с полной производительностью, с тем, чтобы обеспечить положение ИТС, соответствующее поз. 4. В результате годовые расходы «холода» в ВО в первом случае составляют $253,2 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$, а во втором – в 2 раза больше ($501,1 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$).

Таким образом, использование в ЦК термодинамического потенциала воздуха $R2$ позволяет существенно сократить расходы потребляемой теплоты и «холода». При этом габариты ЦК не увеличиваются.

Учитывая столь существенную разницу в потребляемых расходах теплоты и «холода» между вариантами с $R2 \neq 0$ и $R2 = 0$ отказ от использования воздуха $R2$ должен иметь серьезные основания, например, запрет на использование рециркуляционного воздуха.

Пример 3. Если же сравнить значения годовых расходов потребляемой теплоты и «холода» между вариантом «ЦСКВ» из примера 1 и вариантом «ЦК + ВО» из примера 2, в котором $R2 = 0$ (см. табл. 3), то разница будет еще более существеннее. Так, по теплоте: $5,8 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ – для «ЦСКВ» и $221,7 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ – для «ЦК + ВО» при $R2 = 0$ (расходы возросли в 38 раз); по «холоду»: $28,6 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ – для «ЦСКВ» и $517,9 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ – для «ЦК + ВО» при $R2 = 0$ (расходы возросли в 18 раз).

Таким образом, учитывая существенное преимущество ЦСКВ по годовым энергозатратам по сравнению с децентрализованной СКВ, выбор последней требует серьезного обоснования.

Список литературы

1. *Рымкевич А.А.* Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: Стройиздат, 1990. – 300 с.
2. Системный подход к оптимизации СКВ в помещениях с разнохарактерными нагрузками. / Вентиляция общественных и промышленных зданий. Сб. докладов 29 марта 2013 г. – СПб.: АВОК С-3. – 2013. – С.45-50.
3. Проблема создания систем кондиционирования воздуха для помещений с разнохарактерными нагрузками. / VI Международная научно-техническая конференция «Низко-температурные и пищевые технологии в XXI веке» (Санкт-Петербург, 13–15 ноября 2013 г.): Материалы конференции. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2013. – С.194-197.
4. Методика формирования конфигурации системы кондиционирования воздуха, обслуживающей помещения с разнохарактерными нагрузками. VI Международная научно-техническая конференция «Низко-температурные и пищевые технологии в XXI веке» (Санкт-Петербург, 13–15 ноября 2013 г.): Материалы конференции. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2013. – С.198-203.
5. *Коченков Н.В.* Проблема разработки научно-методических основ создания систем кондиционирования воздуха для помещений с разнохарактерными нагрузками. // Вестник международной академии холода. 2014, вып. 3, С.48-52.
6. *Рымкевич А.А.* Особенность метода обобщений условий функционирования СКВ за годовой цикл их эксплуатации. / Арктический СНИП. – СПб.: Арктика. – 2002. – №1(9). – С.22-25.
7. *Коченков Н.В.* Энергосберегающие режимы систем кондиционирования воздуха: моногр. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2009. – Ч. 1: СКВ, обслуживающие помещения с однохарактерными нагрузками. – 399 с.
8. *Коченков Н.В.* Способы управления тепловлажностными и газовыми нагрузками в помещении, приходящимися на ЦСКВ. / Труды ВКА имени А.Ф.Можайского. / Под общ. ред. М.М.Пенькова. Вып.625. В 3 т. Т. 2. – СПб.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 2010, С.179-184.

9. Коченков Н.В. Организация совместного функционирования центральной СКВ и смежных систем микроклимата. / Труды ВКА имени А.Ф.Можайского. / Под общ. ред. М.М.Пенькова. Вып.625. В 3 т. Т. 2. – СПб.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 2010, С.173-178.

10. Коченков Н.В., Кобышева Н.В., Ключева М.В. Энергосберегающие режимы в СКВ и характеристика климата – взаимосвязанные задачи. / Инженерные системы. СПб.: АВОК С-3. – 2006. – №3. – С.48-52.

11. Коченков Н.В. Использование в СКВ воздухоосушителей, основанных на применении сорбентов. / Вестник международной академии холода. 2013, вып. 1, С.51-55.

12. Коченков Н.В., Немировская В.В. Содержательная постановка задачи векторной оптимизации для систем кондиционирования воздуха. / Вестник международной академии холода. 2012, вып. 1, С.40-43.

13. Коченков Н.В., Немировская В.В. Метод решения задачи векторной оптимизации для систем кондиционирования воздуха. / Вестник международной академии холода. 2012, вып. 2, С.41-45.

воздуха и теплоснабжения. – СПб. 20 апреля 2007 г.

References

1. Rymkevich A.A. Sistemnyi analiz optimizatsii obshcheobmennoi ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukha. – М.: Stroizdat, 1990. – 300 s.

2. Sistemnyi podkhod k optimizatsii SKV v pomeshcheniyakh s raznokharakternymi nagruzkami. / Ventilyatsiya obshchestvennykh i promyshlennykh zdaniy. Sb. dokladov 29 marta 2013 g. – SPb.: AVOK S-Z. – 2013. – S.45-50.

3. Problema sozdaniya sistem konditsionirovaniya vozdukha dlya pomeshchenii s raznokharakternymi nagruzkami. / VI Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Nizko-temperaturnye i pishchevye tekhnologii v XXI veke» (Cankt-Peterburg, 13–15 noyabrya 2013 g.): Materialy konferentsii. – SPb.: NIU ITMO; IKhiBT, 2013. – S.194-197.

4. Metodika formirovaniya konfiguratsii sistemy konditsionirovaniya vozdukha, obsluzhivayushchei pomeshcheniya s raznokharakternymi nagruzkami. VI Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Nizko-temperaturnye i pishchevye tekhnologii v XXI veke» (Cankt-Peterburg, 13–15 noyabrya 2013 g.): Materialy konferentsii. – SPb.: NIU ITMO; IKhiBT, 2013. – S.198-203.

5. Kochenkov N.V. Problema razrabotki nauchno-metodicheskikh osnov sozdaniya sistem konditsionirovaniya vozdukha dlya pomeshchenii s raznokharakternymi nagruzkami. // *Vestnik mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2014, vyp. 3, S.48-52.

6. Rymkevich A.A. Osobennost' metoda obobshchenii uslovii funktsionirovaniya SKV za godovoi tsikl ikh ekspluatatsii. / *Arkticheskii SNIP*. – SPb.: Arktika. – 2002. – №1(9). – S.22-25.

7. Kochenkov N.V. Energoberegayushchie rezhimy sistem konditsionirovaniya vozdukha: monogr. – SPb.: VKA im. A.F. Mozhaiskogo, 2009. – Ch. 1: SKV, obsluzhivayushchie pomeshcheniya s odnokharakternymi nagruzkami. – 399 s.

8. Kochenkov N.V. Sposoby upravleniya teplovlazhnostnymi i gazovymi nagruzkami v pomeshchenii, prikhodyashchimisya na TsSKV. / *Trudy VKA imeni A.F.Mozhaiskogo*. / Pod obshch. red. M.M.Pen'kova. Vyp.625. V 3 t. T. 2. – SPb.: VKA im. A.F.Mozhaiskogo, 2010, S.179-184.

9. Kochenkov N.V. Organizatsiya sovmestnogo funktsionirovaniya tsentral'noi SKV i smezhnykh sistem mikroklimate. / *Trudy VKA imeni A.F.Mozhaiskogo*. / Pod obshch. red. M.M.Pen'kova. Vyp.625. V 3 t. T. 2. – SPb.: VKA im. A.F.Mozhaiskogo, 2010, S.173-178.

10. Kochenkov N.V., Kobysheva N.V., Klyueva M.V. Energoberegayushchie rezhimy v SKV i kharakteristika klimate vzaimosvyazannye zadachi. / *Inzhenernye sistemy*. SPb.: AVOK S-Z. – 2006. №3. – S.48-52.

11. Kochenkov N.V. Ispol'zovanie v SKV vozdukhosushitelei, osnovannykh na primenenii sorbentov. / *Vestnik mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2013, vyp. 1, S.51-55.

12. Kochenkov N.V., Nemirovskaya V.V. Soderzhatel'naya postanovka zadachi vektornoj optimizatsii dlya sistem konditsionirovaniya vozdukha. / *Vestnik mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2012, vyp. 1, S.40-43.

13. Kochenkov N.V., Nemirovskaya V.V. Metod resheniya zadachi vektornoj optimizatsii dlya sistem konditsionirovaniya vozdukha. / *Vestnik mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2012, vyp. 2, S.41-45.

воздуха и теплоснабжения. – СПб. 20 апреля 2007 г.