

# СПОСОБЫ ИСКЛЮЧЕНИЯ ПЕРВОЙ РЕЦИРКУЛЯЦИИ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

**Чем обусловлена необходимость использования рециркуляции в центральной системе кондиционирования воздуха (ЦСКВ)? Часто бытует мнение, что за счет использования рециркуляционного воздуха однозначно снижается потребление теплоты или «холода» в системах кондиционирования воздуха. Однако это не всегда так, поскольку само по себе использование рециркуляции еще не гарантирует получение такого эффекта.**

Этот вывод неоднократно подчеркивается профессором А. А. Рымкевичем, в том числе в работе [1]. Использование рециркуляционного воздуха с расходом  $m_R$  может лишь опосредованно влиять на снижение потребляемых расходов теплоты или «холода» и только в том случае, если при этом снижается расход потребляемого наружного воздуха  $m_H$ . Если же этого нет, то никакой экономии теплоты или «холода» от использования рециркуляции не будет.

Роль рециркуляции в ЦСКВ состоит в том, что за счет ее использования появляется возможность уменьшить расход наружного воздуха  $m_H$  (до определенного значения) при неизменном расходе приточного воздуха  $m_H$ :

$$m_H = m_H + m_R$$

Поскольку различают первую (I) и вторую (II) рециркуляцию, то естественно возникают вопросы: как разделить между собой эти рециркуляции, какие задачи решает каждая из них, как должны определяться их текущие (т. е. характерные для данного момента времени) и установочные производительности и, наконец, можно ли исключить использование какой-либо из них в ЦСКВ?

Для ответа на эти вопросы необходимо использовать исходную термодинамическую схему (ИТС).

Рассмотрим ИТС применительно к конкретному примеру при следующих ограничениях и исходных данных:

- рассматривается идеальная модель СКВ [1];
- нормируемые параметры воздуха в помещении заданы в виде области  $Y_a Y_b Y_r$  (температура  $t_y = 20 - 24$  °С; относительная влажность  $\phi_y = 40 - 60\%$ );
- в помещении отсутствуют вредные выделения, исключаяющие использование рециркуляции, а процессы обработки воздуха организованы по энергосберегающим режимам [2, 3];
- удельные значения теплоизбытков  $q_H$  и влагоизбытков  $W_H$  в помещении, которые должны компенсироваться за счет СКВ, постоянные:

$$q_H = 0,066 \text{ кВт/м}^2; W_H = 0,0045 \text{ г/(с·м}^2\text{)};$$

- удельные значения минимально неизбежного  $m_{H1}$  и максимального целесообразного  $m_{H2}$  расхода наружного воздуха:

$$m_{H1} = 0,0023 \text{ кг/(с·м}^2\text{)} \text{ и } m_{H2} = 0,0057 \text{ кг/(с·м}^2\text{)};$$

- отклонение температуры  $t_H$  в приточной струе от нормируемой температуры  $t_y$  в рабочей зоне при ассимиляции избытков теплоты в помещении  $\Delta t_H = t_y - t_H = 4$  °С;
- из всей области наружного климата, нанесенной на I-d-диаграмму, рассматривается только зона с потреблением теплоты 1R и зона с потреблением «холода» 10R (этого достаточно, чтобы показать суть излагаемого вопроса); в этих зонах выбрано по одной представительной точке наружного климата, обозначенной как  $H_1$  или  $H_{10}$ .

Заметим, что информация о расходе рециркуляционного воздуха никак не фигурирует в исходных данных. Именно так и должно быть, поскольку она является расчетной, а не исходной.

## РОЛЬ ИСХОДНОЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

На основе принятых исходных данных строится на I-d-диаграмме ИТС, в которой вся исходная информация представлена в графическом виде (рис. 1). Порядок построения ИТС подробно изложен в работах [2, 3] (на рис. 1 элементы ИТС и вся информация, необходимая для ее построения, выделены красным цветом). Обобщенная форма представления исходной информации в виде ИТС является обязательным элементом процесса проектирования СКВ, поскольку только она обеспечивает определение наилучшей последовательности в технологии обработки воздуха с точки зрения оптимизации энергозатрат в СКВ. Точки, по которым строится ИТС, называются опорными. Некоторые из опорных точек ИТС могут располагаться под линией  $\phi = 1$ . В данном случае это точки  $H_a$  и  $H_b$ . У ряда специалистов, знакомых с I-d-диаграммой, этот факт может вызывать недоумение, поскольку до сих пор еще бытует мнение, что в нерабочей части I-d-диаграммы, т. е. под линией  $\phi = 1$ , никаких построений быть не может. К сожалению, это является глубочайшим заблуждением, которое сильно ограничивает потенциальные возможности, заложенные в таком универсальном инструменте, каковым является I-d-диаграмма влажного воздуха.

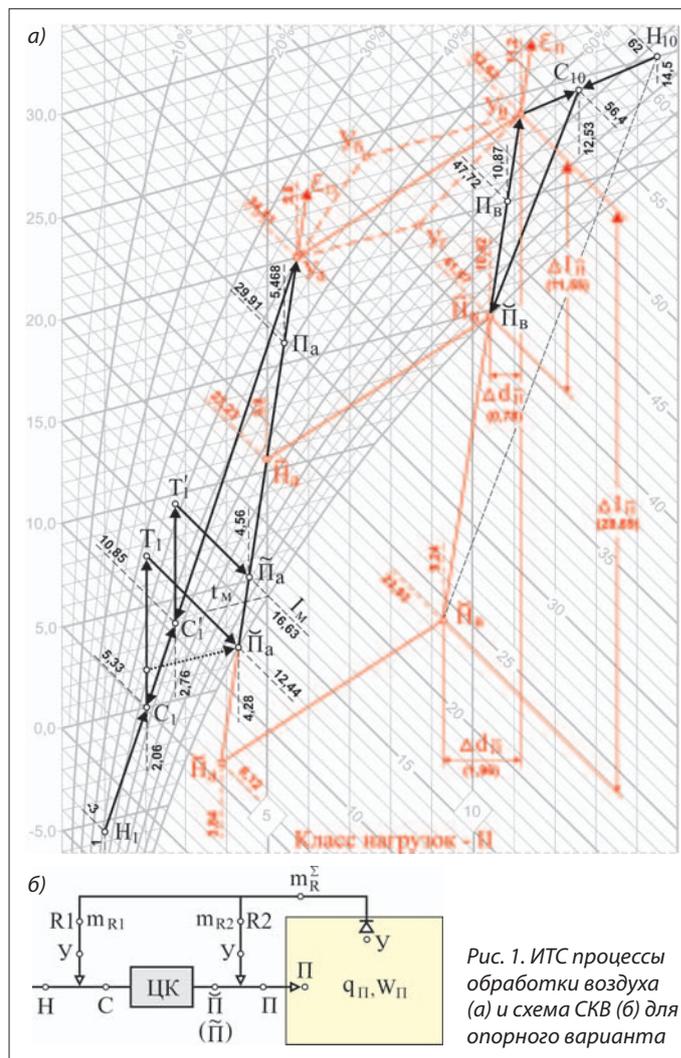


Рис. 1. ИТС процессы обработки воздуха (а) и схема СКВ (б) для опорного варианта

ИТС позволяет выявить причины, обуславливающие необходимость использования рециркуляции и деления ее на первую (I) и вторую (II), а также сформулировать задачи, для решения которых предназначены эти виды рециркуляций. Покажем это на примере построенной ИТС.

Так, необходимость использования I рециркуляции определяется двумя факторами: во-первых, положением опорных точек  $\dot{H}_a$  и  $\dot{H}_b$  на I-d-диаграмме относительно линии  $\phi = 1$ , во-вторых, влиянием ограничения температуры  $t_M$  по мокрому термометру адиабатно увлажняемого воздуха (в нашем примере значение  $t_M$  принято равным 4 °C).

Поэтому первая задача, для решения которой требуется I рециркуляция, состоит в том, чтобы вывести опорные точки  $\dot{H}_a$  и  $\dot{H}_b$  из нерабочей части I-d-диаграммы (если при построении ИТС выяснилось, что они там оказались, что характерно для второго и третьего класса нагрузок [1]) в соответствующие точки  $\dot{P}_a$  и  $\dot{P}_b$ , лежащие на линии  $\phi = 1$ .

Вторая задача, для решения которой требуется I рециркуляция, состоит в следующем: если опорная точка  $\dot{H}_a$  оказалась ниже изоэнтальпы  $I_{M'}$  соответствующей температуре  $t_{M'}$ , то требуется вывести эту опорную точку на изоэнтальпу  $I_{M'}$ . Эта задача возникает только тогда, когда невозможно реализовать процесс адиабатного увлажнения воздуха в контактном аппарате из-за ограничения по температуре  $t_M$  (при увлажнении воздуха насыщенным паром такой задачи не возникает). При решении второй задачи опорная точка  $\dot{H}_a$  должна переместиться в точку  $\dot{P}_a$ , лежащую на изоэнтальпе  $I_{M'}$ .

Исключить I рециркуляцию можно только в том случае, если решение указанных задач возможно другими способами, не требующими использования I рециркуляции (эти способы будут рассмотрены ниже).

Необходимость использования же II рециркуляции обуславливается совсем другой причиной, а именно — отклонением параметров воздуха в точках  $\dot{P}_a$  ( $\dot{P}_a'$ ) и  $\dot{P}_b$  на выходе из центрального кондиционера (ЦК) от требуемых параметров приточного воздуха в точках  $P_a$  и  $P_b$ . Поэтому задача, решаемая II рециркуляцией, заключается в том, чтобы устранить указанное отклонение и тем самым переместить точки  $\dot{P}_a$  и  $\dot{P}_a'$  в точку  $P_a'$ , а точку  $\dot{P}_b$  — в точку  $P_b$ . Данная задача должна решаться только за счет II рециркуляции, и никакие другие способы ее решения нецелесообразны с точки зрения оптимизации энергозатрат в СКВ.

Поэтому вопрос, связанный с исключением рециркуляции, может рассматриваться только в отношении I рециркуляции. Но даже в этом случае он заслуживает серьезного внимания по следующим двум причинам.

Во-первых, известно, что подсистемы транспортировки рециркуляционного воздуха в ЦСКВ могут иметь довольно протяженные сети и занимать значительные объемы в зданиях. Естественно возникает желание попытаться уменьшить эти объемы за счет ликвидации рециркуляции в ЦСКВ хотя бы частично. Во-вторых, исключение I рециркуляции является необходимым условием для обеспечения раздельной обработки наружного воздуха и воздуха II рециркуляции в ЦСКВ<sup>1</sup>.

Однако возможно ли исключить использование I рециркуляции воздуха в ЦСКВ, чтобы это не привело к дополнительному увеличению расходов потребляемых энергоресурсов в этой, и без того энергоемкой, системе. И как это лучше сделать? Ниже приводится сравнительная оценка четырех вариантов ЦСКВ, в

первом из которых (опорном варианте) используется I рециркуляция, а в остальных она исключена, причем разными способами (для определения текущих расходов энергоресурсов, потребляемых в опорном варианте и в вариантах без I рециркуляции будет использована ИТС).

### ОПОРНЫЙ ВАРИАНТ СКВ

В качестве опорного варианта СКВ рассматривается ЦСКВ с I и II рециркуляциями. Процессы обработки воздуха для точек наружного климата  $H_1$  и  $H_{10}$  и схема СКВ показаны на рис. 1.

Расход воздуха I рециркуляции  $m_{R1}$  для точки наружного климата  $H_1$  (независимо от того, используется ли адиабатное увлажнение воздуха или увлажнение насыщенным паром):

$$m_{R1} = m_{\dot{P}_a} - m_{\dot{H}_1} = \frac{q_{п}}{I_{y_a} - I_{\dot{P}_a}} - m_{\dot{H}_1} = \frac{0,00295}{34,81 - 12,44} - 0,0023 = 0,00065 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2).$$

При влиянии ограничения температуры  $t_M$  по мокрому термометру адиабатно увлажняемого воздуха расход  $m_{R1}$  увеличивается до  $m'_{R1}$ , значение которого определяется по формуле:

$$m'_{R1} = m_{\dot{P}_a} - m_{\dot{H}_1} = \frac{q_{п}}{I_{y_a} - I_{\dot{P}_a}} - m_{\dot{H}_1} = \frac{0,00363}{34,81 - 16,63} - 0,0023 = 0,00133 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2).$$

Расход воздуха I рециркуляции  $m'_{R1}$  для точки наружного климата  $H_{10}$ :

$$m_{R1} = m_{\dot{P}_a} - m_{\dot{H}_{10}} = \frac{q_{п}}{I_{y_a} - I_{\dot{P}_a}} - m_{\dot{H}_{10}} = \frac{0,00571}{52,62 - 41,07} - 0,0023 = 0,00341 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2).$$

Расход приточного воздуха в точках  $P_a$  и  $P_b$  составляет:

$$m_{P_a} = \frac{q_{п}}{I_{y_a} - I_{P_a}} = \frac{0,066}{34,81 - 29,91} = 0,01347 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2);$$

$$m_{P_b} = \frac{q_{п}}{I_{y_a} - I_{P_b}} = \frac{0,066}{52,62 - 47,72} = 0,01347 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2).$$

Расход воздуха II рециркуляции для точек  $H_1$  и  $H_{10}$  составляет:

$$\left. \begin{aligned} m_{R2} = m_{P_a} - m_{\dot{P}_a} &= 0,01347 - 0,00295 = 0,01052 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2) \\ m'_{R2} = m_{P_a} - m_{\dot{P}_a'} &= 0,01347 - 0,00363 = 0,00984 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2) \\ m_{R2} = m_{P_b} - m_{\dot{P}_b} &= 0,01347 - 0,00571 = 0,00776 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2) \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{— для} \\ \text{точек } H_1; \\ \text{— для} \\ \text{точек } H_{10}. \end{array}$$

Таким образом, значения расходов рециркуляционного воздуха  $m_{R1}$  и  $m_{R2}$  изменяются в следующих пределах:

$$0,00065 \leq m_{R1} \leq 0,00341 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2);$$

$$0,00776 \leq m_{R2} \leq 0,01052 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2).$$

Но при этом суммарный расход  $m_R^{\Sigma}$  рециркуляционного воздуха, где  $m_R^{\Sigma} = m_{R1} + m_{R2}$ , должен оставаться постоянным и равным:

$$m_R^{\Sigma} = m_{P_a} - m_{\dot{H}_1} = 0,01117 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2).$$

В качестве установочных производительностей для I и II рециркуляций должны приниматься максимальные значения  $m_{R1}$  и  $m_{R2}$  соответственно.

Значения энтальпий в точках смеси  $C_1$ ,  $C_1'$  и  $C_{10}$  (они понадобятся далее для расчета расходов теплоты  $q_T$  и «холода»  $q_X$ ) определяются по выражениям [3]:

$$I_{C_1} = I_{y_a} - \frac{m_{\dot{H}_1}}{m_{\dot{P}_a}}(I_{y_a} - I_{H_1}) = 34,81 - \frac{0,0023}{0,00295}(34,81 - (-3)) = 5,33 \text{ кДж}/\text{кг};$$

$$I_{C_1'} = I_{y_a} - \frac{m_{\dot{H}_1'}}{m_{\dot{P}_a}}(I_{y_a} - I_{H_1}) = 34,81 - \frac{0,0023}{0,00363}(34,81 - (-3)) = 10,85 \text{ кДж}/\text{кг};$$

$$I_{C_{10}} = I_{y_a} - \frac{m_{\dot{H}_{10}}}{m_{\dot{P}_a}}(I_{y_a} - I_{H_{10}}) = 52,62 - \frac{0,0023}{0,00571}(52,62 - 62) = 56,4 \text{ кДж}/\text{кг}.$$

Аналогично определяются значения влагосодержаний в точках  $C_1$ ,  $C_1'$  и  $C_{10}$  (они понадобятся далее для расчета расходов воды  $m_w$ ,  $m_w'$ ).

Находим расход воды  $m_w$  на увлажнение воздуха, независимо от способа увлажнения:

$$m_w = m_{\dot{P}_a}(d_{\dot{P}_a} - d_{C_1}) = 0,00295(4,28 - 2,06) = 0,0065 \text{ г}/(\text{с}\cdot\text{м}^2);$$

$$m_w' = m_{\dot{P}_a}(d_{\dot{P}_a} - d_{C_1'}) = 0,00363(4,56 - 2,76) = 0,0065 \text{ г}/(\text{с}\cdot\text{м}^2).$$

<sup>1</sup> Вариант ЦСКВ с раздельной обработкой наружного и рециркуляционного воздуха предложен профессором А.А.Рымкевичем. Это принципиально новый подход к ЦСКВ, поэтому информация об энергосберегающей технологии обработки двух самостоятельных потоков воздуха (наружного и рециркуляционного), до их смешивания перед подачей в помещение, в литературе отсутствует. Авторы статьи намерены разработать такую технологию.

Вычисляем расход теплоты  $q_T$  на нагрев воздуха в ЦК, независимо от способа увлажнения:

$$q_T = m_{\bar{n}_a} (I_{\bar{n}_a} - I_{C_1}) = 0,00295 (12,44 - 5,33) = 0,021 \text{ кВт/м}^2;$$

$$q'_T = m_{\bar{n}_a} (I_{\bar{n}_a} - I_{C_1}') = 0,00363 (16,63 - 10,85) = 0,021 \text{ кВт/м}^2.$$

Теперь находим расход «холода»  $q_X$  на политропное охлаждение воздуха в ЦК:

$$q_X = m_{\bar{n}_a} (I_{C_{10}} - I_{\bar{n}_a}) = 0,00571 (56,4 - 41,07) = 0,0875 \text{ кВт/м}^2.$$

Полученные текущие значения расходов теплоты, «холода», воды и воздуха, потребляемых в опорном варианте для точек наружного климата  $H_1$  и  $H_{10}$ , являются эталонными для энергетической оценки рассматриваемых далее вариантов СКВ, не использующих I рециркуляцию.

## СПОСОБЫ ИСКЛЮЧЕНИЯ ПЕРВОЙ РЕЦИРКУЛЯЦИИ В ЦСКВ

### Способ 1 (конкурирующий вариант СКВ №1).

Первая рециркуляция может быть исключена за счет увеличения расхода наружного воздуха на величину  $\Delta m_{H_1}$ , равную  $m_{R_1}$ . При этом расходы воздуха II рециркуляции  $m_{R_2}$  и приточного воздуха  $m_{\bar{n}_{(a)}}$  остаются такими же, как в опорном варианте СКВ. В этом случае для точки наружного климата  $H_1$  опорная точка  $\check{H}_a$  перемещается вверх по лучу процесса с угловым коэффициентом  $\epsilon_{\Pi}$  в точку  $\check{\Pi}_a$ , а расход наружного воздуха увеличивается с  $m_{H_1}$  до значения  $m_{\bar{n}_a}$ , равного 0,00295 кг/(с·м<sup>2</sup>) (см. рис. 1). При адиабатном увлажнении воздуха и наличии ограничения по температуре  $t_M$  опорная точка  $\check{H}_a$  перемещается в точку  $\check{\Pi}_a$ , а расход наружного воздуха увеличивается до значения  $m_{\bar{n}_a}$ , равного 0,00363 кг/(с·м<sup>2</sup>). В ЦК обрабатывается только наружный воздух: реализуются векторы режимов  $H_1\check{\Pi}_a$  или  $H_1\check{\Pi}_a^*$  (на рис. 1 они не показаны), не требующие использования I рециркуляции.

Для точки наружного воздуха  $H_{10}$  опорная точка  $\check{H}_b$  перемещается вверх по лучу процесса с угловым коэффициентом  $\epsilon_{\Pi}$  в точку  $\check{\Pi}_b$ , а расход наружного воздуха увеличивается с  $m_{H_{10}}$  до значения  $m_{\bar{n}_a}$ , равного 0,00571 кг/(с·м<sup>2</sup>). В ЦК обрабатывается только наружный воздух: реализуется вектор режима  $H_{10}\check{\Pi}_b$  (на рис. 1 он не показан) без I рециркуляции.

Для воздуха II рециркуляции никакой тепловлажностной обработки здесь не требуется (так же, как и в опорном варианте СКВ).

Существенным недостатком этого варианта СКВ является то, что исключение I рециркуляции за счет увеличения расхода наружного воздуха влечет за собой значительные перерасходы потребляемых энергоресурсов, а именно:

- расхода теплоты  $q_T$  (в опорном варианте  $q_T = 0,021$  кВт/м<sup>2</sup>):

$$q_T = m_{\bar{n}_a} (I_{\bar{n}_a} - I_{H_1}) = 0,00295 - (12,44 - (-3)) = 0,0455 \text{ кВт/м}^2;$$

$$q'_T = m_{\bar{n}_a} (I_{\bar{n}_a} - I_{H_1}') = 0,00363 - (16,63 - (-3)) = 0,0713 \text{ кВт/м}^2;$$

- расхода воды  $m_W$  на увлажнение воздуха (в опорном варианте  $m_W = 0,0065$  г/(с·м<sup>2</sup>):

$$m_W = m_{\bar{n}_a} (d_{\bar{n}_a} - d_{H_1}) = 0,00295 (4,28 - 1) = 0,0097 \text{ г/(с·м}^2);$$

$$m'_W = m_{\bar{n}_a} (d_{\bar{n}_a} - d_{H_1}') = 0,00363 (4,56 - 1) = 0,0129 \text{ г/(с·м}^2);$$

- расхода «холода»  $q_X$  (в опорном варианте  $q_X = 0,0875$  кВт/м<sup>2</sup>):

$$q_X = m_{\bar{n}_a} (I_{H_{10}} - I_{\bar{n}_a}) = 0,00571 (62 - 41,07) = 0,1195 \text{ кВт/м}^2.$$

### Способ 2 (конкурирующий вариант СКВ №2).

Первая рециркуляция может быть исключена за счет использования местных рециркуляционных систем (МРС), которые забирают воздух из помещения и, после его соответствующей тепловлажностной обработки, подают обратно непосредственно в помещение (рис. 2). Механизм исключения I рециркуляции при этом способе сводится к следующему. За счет функционирования МРС появляется возможность изменять значения тепловых  $q_{\Pi}$  или влажностных  $W_{\Pi}$  нагрузок в помещении, а следовательно, изменять угловой коэффициент  $\epsilon_{\Pi}$  луча процесса в помещении и положение ИТС таким образом, чтобы опорные точки  $\check{H}_a$  и  $\check{H}_b$  оказались на линии  $\phi = 1$ . В обозначениях всех элементов ИТС, изменивших в этом случае свое положение, присутствует символ «\*». В результате в ЦК будет обрабатываться только наружный воздух, а I рециркуляция — отсутствовать.

Воздух II рециркуляции ( $m_{R_2}^{ЦК}$ ) также как и в опорном варианте не проходит никакой тепловлажностной обработки и подмешивается к воздуху после ЦК до подачи приточного воздуха в помещение. Другой поток рециркуляционного воздуха ( $m_R^{BO}$  или  $m_R^{AY}$ : в общем виде  $m_R^{MPC}$ ) проходит определенную тепловлажностную обработку в МРС, после чего подается прямо в помещение (без предварительного смешивания с воздухом после ЦК).

Рассмотрим это подробнее.

Для точки наружного климата  $H_1$  опорная точка  $\check{H}_a$  должна переместиться из-под линии  $\phi = 1$  в точку  $\check{H}_a^*$ , которая находится на пересечении изоэнтальпы  $I_{\check{H}_a}$  и линии  $\phi = 1$ . Вектор  $\check{H}_a\check{H}_a^*$  реализуется за счет функционирования МРС в виде адиабатного увлажнителя (АУ), который забирает воздух из помещения с параметрами в точке  $Y_a$ , адиабатно увлажняет его до параметров в точке  $\Pi_a^{AY}$  и подает обратно в помещение. В результате в помещении изменяется влажностная нагрузка, которая в этом случае составляет  $W_{\Pi}^* = W_{\Pi} + m_W^{AY}$ , где  $m_W^{AY}$  — расход воды на адиабатное увлажнение воздуха в АУ.

Значение  $m_W^{AY}$  определяется следующим образом:

$$m_W^{AY} = m_{H_1} (d_{\check{H}_a} - d_{\check{H}_a^*}) = 0,0023 (3,84 - 3,25) = 0,0013 \text{ г/(с·м}^2).$$

В ЦК обрабатывается только наружный воздух: реализуется вектор режима  $H_1\check{H}_a^*$  (на рис. 2 он не показан) без I рециркуляции, включающий в себя нагрев воздуха (вектор  $H_1T_1'$ ) и его увлажнение

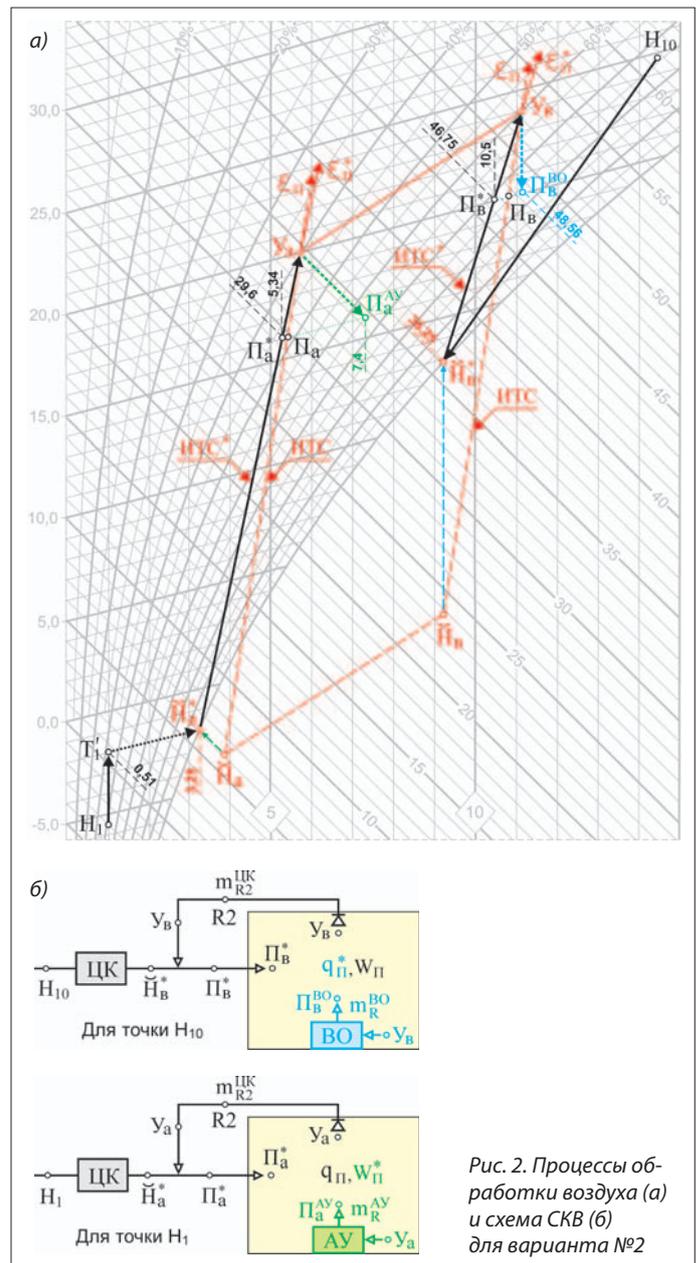


Рис. 2. Процессы обработки воздуха (а) и схема СКВ (б) для варианта №2

насыщенным паром (вектор  $T'_1 \tilde{H}_a^*$ ). Адиабатное увлажнение воздуха здесь не годится, поскольку тогда из-за ограничения температуры  $t_M$  потребуется I рециркуляция.

Расход воды  $m_W^{IK}$  на увлажнение воздуха в ЦК составляет:

$$m_W^{IK} = m_H(d_{H_1^*} - d_{H_1}) = 0,0023(3,25 - 1) = 0,0052 \text{ г}/(\text{с}\cdot\text{м}^2).$$

Суммарный расход воды  $m_W^\Sigma$  в совместно функционирующих ЦК и АУ:

$$m_W^\Sigma = m_W^{IK} + m_W^{AV} = 0,0052 + 0,0013 = 0,0065 \text{ г}/(\text{с}\cdot\text{м}^2) \text{ — значение не изменилось.}$$

Суммарный расход явной теплоты и скрытой теплоты парообразования  $q_T^\Sigma$ :

$$q_T^\Sigma = m_H(I_{H_1^*} - I_{H_1}) = 0,0023(6,12 - (-3)) = 0,021 \text{ кВт}/\text{м}^2 \text{ — значение не изменилось.}$$

Приточный воздух подается в помещение от ЦСКВ с параметрами в точке  $\Pi_a^*$  и от АУ с параметрами в точке  $\Pi_a^{AV}$ . Точки  $\Pi_a^*$  и  $\Pi_a^{AV}$  находятся на пересечении изотермы  $t_{\Pi_a}$  с лучом процесса  $\epsilon_{\Pi}^*$  и с изоэнтальпой  $I_{y_a}$  соответственно. Расходы приточного воздуха в этих точках составляют:

- в точке  $\Pi_a^*$ :  $m_{\Pi}^{IK} = \frac{q_{\Pi}}{I_{y_a} - I_{\Pi_a^*}} = \frac{0,066}{34,81 - 29,6} = 0,01266 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ ;
- в точке  $\Pi_a^{AV}$ :  $m_{\Pi}^{AV} = m_{R^*}^{AV} = \frac{m_W^{AV}}{d_{\Pi_a^{AV}} - d_{y_a}} = \frac{0,0013}{7,4 - 5,8} = 0,00081 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ .

Суммарный расход приточного воздуха, подаваемый в помещение от ЦСКВ и АУ, составит:

$$m_{\Pi}^\Sigma = m_{\Pi}^{IK} + m_{\Pi}^{AV} = 0,01266 + 0,00081 = 0,01347 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2) \text{ — значение не изменилось.}$$

Расход воздуха II рециркуляции  $m_{R2}^{IK}$  в ЦСКВ, необходимый для того, чтобы параметры в точке  $\tilde{H}_a^*$  довести до параметров в точке  $\Pi_a^*$ :

$$m_{R2}^{IK} = m_{\Pi}^{IK} - m_H = 0,01266 - 0,0023 = 0,01036 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2).$$

Суммарный расход  $m_R^\Sigma$  рециркуляционного воздуха в ЦСКВ и АУ:

$$m_R^\Sigma = m_{R2}^{IK} + m_R^{AV} = 0,01036 + 0,00081 = 0,01117 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2) \text{ — значение не изменилось.}$$

Для точки наружного климата  $H_{10}$  опорная точка  $\tilde{H}_a$  перемещается из-под линии  $\phi = 1$  в точку, которая находится на пересечении линии постоянного влагосодержания  $d_{\tilde{H}_a}$  и линии  $\phi = 1$ . Реализуется это за счет использования МРС в виде воздухоохладителя (ВО), который забирает воздух из помещения с параметрами в точке  $Y_b$ , охлаждает его при постоянном влагосодержании до параметров в точке  $\Pi_b^{BO}$  и подает обратно в помещение. В результате в помещении уменьшается первоначальная тепловая нагрузка  $q_{\Pi}$ , которая в этом случае составляет:

$$q_{\Pi}^* = q_{\Pi} - q_X^{BO}, \text{ где } q_X^{BO} \text{ — расход «холода» в ВО.}$$

Значение  $q_X^{BO}$  рассчитывается по уравнению:

$$q_X^{BO} = m_H(I_{H_1^*} - I_{H_1}) = 0,0023(36,25 - 23,93) = 0,0283 \text{ кВт}/\text{м}^2.$$

В ЦК обрабатывается только наружный воздух: реализуется процесс политропного охлаждения  $H_{10} \tilde{H}_a^*$  без I рециркуляции.

Расход «холода»  $q_X^{IK}$ , потребляемого в ЦК, составляет:

$$q_X^{IK} = m_H(I_{H_{10}} - I_{H_1^*}) = 0,0023(62 - 36,25) = 0,0592 \text{ кВт}/\text{м}^2.$$

Суммарный расход «холода»  $q_X^\Sigma$  в совместно функционирующих ЦК и ВО:

$$q_X^\Sigma = q_X^{IK} + q_X^{BO} = 0,0592 + 0,0283 = 0,0875 \text{ кВт}/\text{м}^2 \text{ — значение не изменилось.}$$

Приточный воздух подается в помещение от ЦСКВ с параметрами в точке  $\Pi_b^*$  и от ВО с параметрами в точке  $\Pi_b^{BO}$ . Точки  $\Pi_b^*$  и  $\Pi_b^{BO}$  находятся на пересечении изотермы  $t_{\Pi_b}$  с лучом процесса  $\epsilon_{\Pi}^*$  и линией постоянного влагосодержания  $d_{y_b}$  соответственно. Расходы приточного воздуха в этих точках составляют:

- в точке  $\Pi_b^*$ :  $m_{\Pi}^{IK} = \frac{q_{\Pi} - q_X^{BO}}{I_{y_a} - I_{\Pi_b^*}} = \frac{0,066 - 0,0283}{52,62 - 46,79} = 0,00647 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ ;
- в точке  $\Pi_b^{BO}$ :  $m_{\Pi}^{BO} = m_R^{BO} = \frac{q_X^{BO}}{I_{y_a} - I_{\Pi_b^{BO}}} = \frac{0,0283}{52,62 - 48,56} = 0,007 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ .

Суммарный расход приточного воздуха, подаваемый в помещение от ЦСКВ и ВО:

$$m_{\Pi}^\Sigma = m_{\Pi}^{IK} + m_{\Pi}^{BO} = 0,00647 + 0,007 = 0,01347 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2) \text{ — значение не изменилось.}$$

Расход воздуха II рециркуляции  $m_{R2}^{IK}$  в ЦСКВ, необходимый для того, чтобы параметры в точке  $\tilde{H}_b$  довести до параметров в точке  $\Pi_b^*$ :

$$m_{R2}^{IK} = m_{\Pi}^{IK} - m_H = 0,00647 - 0,0023 = 0,00417 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2).$$

Суммарный расход рециркуляционного воздуха  $m_R^\Sigma$  в ЦСКВ и ВО:

$$m_R^\Sigma = m_{R2}^{IK} + m_R^{BO} = 0,00417 + 0,007 = 0,01117 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2) \text{ — значение не изменилось.}$$

Отметим, что полученные текущие значения расходов теплоты, «холода», воды и воздуха, потребляемые в рассматриваемом варианте СКВ, остались теми же самыми, что и в опорном варианте.

**Способ 3 (конкурирующий вариант СКВ №3).**

Первая рециркуляция может быть исключена за счет того, что в канале II рециркуляции вводится определенное возмущающее воздействие, изменяющее параметры воздуха II рециркуляции таким образом, чтобы опорные точки  $\tilde{H}_a$  или  $\tilde{H}_b$  оказались бы на линии  $\phi = 1$  в точках  $A_1$  или  $X_{10}$ , характеризующих параметры воздуха на выходе из ЦК (рис. 3 а). Возмущения в канале II рециркуляции вводятся

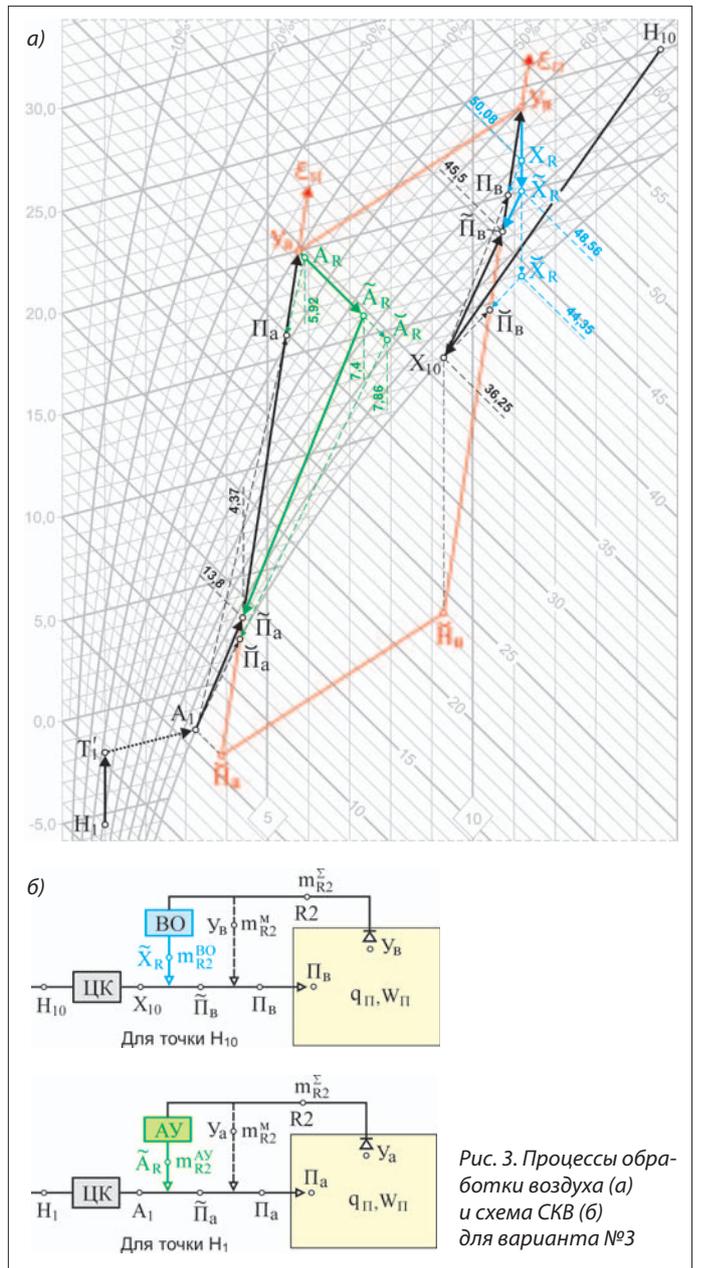


Рис. 3. Процессы обработки воздуха (а) и схема СКВ (б) для варианта №3

за счет функционирования рециркуляционных систем (РС) тепло-влажностной обработки воздуха в виде АУ или ВО (рис. 3 б) (механизм влияния возмущающих воздействий в канале II рециркуляции на положение точки, характеризующей параметры воздуха на выходе из ЦК, был исследован в гл. 4 работы [2]).

Данный способ отличается от предыдущего тем, что рециркуляционный воздух после его соответствующей тепловлажностной обработки в РС подается не сразу в помещение (как во втором способе), а смешивается с воздухом, выходящим из ЦК. Точка, характеризующая параметры смеси, располагается на луче процесса, угловой коэффициент  $\varepsilon_{II}$  которого не изменяется, и положение ИТС остается таким же, как в опорном варианте. После смешивания значения параметров воздуха доводятся до значений параметров приточного воздуха за счет II местной рециркуляции (на рис. 3 б она показана пунктирной линией). Инерционный процесс изменения тепловых  $q_{II}$  или влажностных  $W_{II}$  нагрузок и организация двухпоточного воздухораспределения в помещении, как это было в способе 2, здесь отсутствуют.

В ЦК обрабатывается только наружный воздух. При этом на выходе из ЦК он имеет параметры, соответствующие точкам  $A_i$  или  $X_{i0}$ . Процессы его обработки и расходы потребляемых при этом энергоресурсов будут точно такими же, как и в способе 2. Кроме того, положения точек  $P_a$  и  $P_{b'}$ , характеризующих параметры приточного воздуха, не изменяются, следовательно, и расходы воздуха  $m_{P_a}$ ,  $m_{P_{b'}}$  в этих точках остаются такими же, как в опорном варианте.

**Для точки наружного климата  $H_1$**  в АУ реализуется процесс адиабатного увлажнения рециркуляционного воздуха с расходом  $m_{R2}^{AY}$  (вектор  $Y_a \tilde{A}_R$ ). Точка  $\tilde{A}_R$ , характеризующая параметры воздуха на выходе из АУ, в зависимости от принятого расхода воздуха  $m_{R2}^{AY}$  может располагаться в любом месте на отрезке  $A_R \tilde{A}_R$ , совпадающем с изоэнтальпой  $I_{y_a}$ . Вторая координата точки  $\tilde{A}_R$  (влажность)  $d_{\tilde{A}_R}$  определяется следующим образом:

$$d_{\tilde{A}_R} = m_{W}^{AY} / m_{R2}^{AY} + d_{y_a}, \text{ г/кг.}$$

Расход воды  $m_{W}^{AY}$  на адиабатное увлажнение рециркуляционного воздуха в АУ остается таким же, как в способе 2.

В зависимости от принятого значения расхода воздуха  $m_{R2}^{AY}$  будет изменяться также и положение точки  $\tilde{P}_a$  на отрезке  $P_a \tilde{P}_a$ , которая характеризует параметры воздуха после смешивания двух потоков воздуха с параметрами в точках  $A_i$  и  $\tilde{A}_R$ . Далее параметры воздуха в точке  $\tilde{P}_a$  доводятся до требуемых, соответствующих точке  $P_{a'}$ , за счет использования местной II рециркуляции с расходом воздуха  $m_{R2}^M$ .

**Для точки наружного климата  $H_{10}$**  в ВО реализуется процесс политропного охлаждения рециркуляционного воздуха по линии  $d_{y_b} = const$  с расходом  $m_{R2}^{BO}$  (вектор  $Y_b \tilde{X}_R$ ). Точка  $\tilde{X}_R$ , характеризующая параметры воздуха на выходе из ВО, в зависимости от принятого расхода воздуха  $m_{R2}^{BO}$  может располагаться в любом месте на отрезке  $X_R \tilde{X}_R$ , совпадающем с изолинией  $d_{y_b} = const$ . Вторая координата точки  $\tilde{X}_R$  (энтальпия)  $I_{\tilde{X}_R}$  определяется следующим образом:

$$I_{\tilde{X}_R} = q_{X_R}^{BO} / m_{R2}^{BO} + I_{y_b}, \text{ кДж/кг.}$$

Расход «холода»  $q_{X_R}^{BO}$  на охлаждение рециркуляционного воздуха в ВО остается таким же, как в способе 2.

В зависимости от принятого значения расхода воздуха  $m_{R2}^{BO}$  будет изменяться также и положение точки  $\tilde{P}_b$  на отрезке  $P_b \tilde{P}_b$ , которая характеризует параметры воздуха после смешивания двух потоков воздуха с параметрами в точках  $X_{i0}$  и  $\tilde{X}_R$ . Далее параметры воздуха в точке  $\tilde{P}_b$  доводятся до требуемых, соответствующих точке  $P_{b'}$ , за счет использования местной II рециркуляции с расходом воздуха  $m_{R2}^M$ .

Расходы воздуха II рециркуляции  $m_{R2}^{AY(BO)}$  и  $m_{R2}^M$  воздуха могут регулироваться, но при этом изменения в этих расходах должны быть синхронизированы между собой таким образом, чтобы их сумма оставалась постоянной:

$$m_{R2}^{\Sigma} = m_{R2}^{AY(BO)} + m_{R2}^M = m_{P_{a(i)}} - m_{P_i} = const.$$

Возможность регулирования расходов воздуха  $m_{R2}^{AY(BO)}$  и  $m_{R2}^M$  вводит в процесс управления дополнительную степень свободы, которая при определенных обстоятельствах может оказаться востребованной.

На рис. 3 а показано по три положения точек, характеризующих параметры воздуха на выходе из АУ и ВО:  $A_{R1}$ ,  $\tilde{A}_{R1}$ ,  $\tilde{A}_R$  и  $X_{R1}$ ,  $\tilde{X}_{R1}$ ,  $\tilde{X}_R$ . Значения расходов воздуха  $m_{R2}^{AY(BO)}$  и  $m_{R2}^M$  соответствующие этим точкам, приведены в таблице. Текущие значения расходов теплоты, «холода», воды и воздуха, потребляемые в рассматриваемом варианте СКВ, также сведены в таблице.

## Выводы

1. При необходимости и грамотном подходе I рециркуляция в ЦСКВ может быть исключена (в ЦК будет обрабатываться только наружный воздух), и это не повлечет за собой увеличения расходов потребляемых энергоресурсов. В способах 2 и 3 показана такая технология исключения I рециркуляции.

Однако функционально-технические характеристики необходимых для этого технических средств идеализированы, поскольку, в соответствии с принятым допущением, рассматривалась идеальная модель СКВ. Выбрать установочные производительности этих технических средств несложно. Значительно сложнее определить, как должны изменяться их производительности в течение годового цикла эксплуатации. Этот вопрос в статье не затрагивался, поскольку он заслуживает самостоятельного рассмотрения.

2. Для исключения I рециркуляции за счет увеличения расхода наружного воздуха (способ 1) должны быть весьма существенные причины, поскольку этот способ является крайне не экономичным.

3. Исключать II рециркуляцию в ЦСКВ не целесообразно с точки зрения оптимизации энергозатрат на обработку воздуха.

4. Суммарный расход рециркуляционного воздуха  $m_{R2}^{\Sigma}$  должен оставаться одним и тем же, а изменяться может только его перераспределение между I и II рециркуляциями. Поэтому при исключении I рециркуляции ( $m_{R1} = 0$ ) должен увеличиться расход воздуха II рециркуляции на величину, равную  $m_{R1}$ . В противном случае должен быть увеличен расход наружного воздуха, а это неизбежно приведет к перерасходам энергоресурсов, потребляемых в СКВ (см. способ 1).

Табл. Расходы теплоты, «холода», воды и воздуха, потребляемые в варианте СКВ № 3

Точки наружного воздуха	Теплота	«Холод»	Вода	Воздух						
	$q_T$	$q_X^c$	$m_W^c$	$m_H$	$m_{R1}$	$m_{R2}^{AY(BO)}$	$m_{R2}^M$	$m_{R2}^{\Sigma}$	$m_H^c = m_{R2}^{\Sigma} + m_H$	
	кВт/м <sup>2</sup>		г/(с·м <sup>2</sup> )		кг/(с·м <sup>2</sup> )					
$H_1$	0,021	—	0,0052 + + 0,0013 = = 0,0065	0,0023	—	$A_R$	0,01117	—	0,01117	0,01347
						$\tilde{A}_R$	0,00084	0,01033		
						$\tilde{A}_R$	0,00065	0,01052		
$H_{10}$	—	0,0592 + + 0,0283 = = 0,0875	—	0,0023	—	$X_R$	0,01117	—	0,01117	0,01347
						$\tilde{X}_R$	0,00697	0,0042		
						$\tilde{X}_R$	0,00341	0,00776		

5. Возможность исключения рециркуляции и обеспечения работы ЦК только на одном минимально неизбежном расходе  $m_{н1}$  наружного воздуха в рассмотренных расчетных зонах 1R и 10R вовсе не означает, что типоразмер ЦК может быть уменьшен до расхода  $m_{н1}$ . Этого сделать не удастся, так как есть и другие расчетные зоны, при которых в ЦК должен использоваться переменный  $m_{н1}$  и даже максимально целесообразный расход  $m_{н1}$  наружного воздуха. Уменьшение же в этих расчетных зонах расхода наружного воздуха вплоть до  $m_{н1}$  повлечет за собой значительные перерасходы потребляемых энергоресурсов [4]. И все же типоразмер ЦК может быть уменьшен до расхода  $m_{н1}$ , но для этого потребуется дополнительная приточная система наружного воздуха, которая будет функционировать только тогда, когда требуемый расход наружного воздуха превышает значение  $m_{н1}$ . Однако этот вопрос тоже заслуживает самостоятельного рассмотрения.

Н. В. КОЧЕНКОВ, к. т. н., доц., ВКА им. А. Ф. Можайского,  
М. С. ШПАГИНА

**Литература**

1. Рымкевич А. А. «Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха». — СПб: АВОК С-3, 2003 г.
2. Коченков Н. В. «Энергосберегающие режимы систем кондиционирования воздуха»: моногр. Ч. 1: «СКВ, обслуживающие помещения с однохарактерными нагрузками». — СПб: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2009 г.
3. Коченков Н. В. «Энергосберегающие режимы систем кондиционирования воздуха по методу профессора А. А. Рымкевича»: учеб. пособие. — СПб: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2010 г.
4. Коченков Н. В. «Сравнительная оценка годовых энергозатрат в центральной и децентрализованной системах кондиционирования воздуха». // Сб. научных трудов ВКА им. А. Ф. Можайского. — СПб: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2009 г.
5. Коченков Н. В. «К вопросу о рециркуляции в центральных системах кондиционирования воздуха». // Труды ВКА им. А. Ф. Можайского, под общ. ред. проф. М. И. Пенькова. Вып. 627, июнь. — СПб: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2010 г.

**Новости**

ИНФОРМАЦИОННОЕ АГЕНТСТВО Xinhua сообщает о развитии в КНР производства кондиционеров воздуха, питаемых от солнечных батарей и способных направлять избыточное электричество в энергосеть. Первые 50 000 этих систем предназначены для американского рынка. Гелиотермический тип кондиционера, разработанный компанией Gree Electric Appliances, использует в основном солнце в качестве энергетического источника, прибегая к услугам традиционной электросети лишь в случае недостаточности солнечной энергии. Данная модель кондиционера позиционируется на рынок США, учитывая всестороннюю поддержку американским правительством различных инициатив по использованию избыточного солнечного электричества местными энергетическими сетями. Являясь одним из крупнейших мировых производителей и потребителей кондиционерно-

го оборудования, Китай продолжает разработки в области климатических систем, работающих на солнечной энергии. Второе поколение кондиционеров данного типа, запланированное к выходу на мировой рынок в 2011 г., обеспечено 100 %-м питанием от солнечных батарей, исключая тем самым какие-либо эмиссии CO<sub>2</sub> в атмосферу. Тем временем, Бюджетная служба конгресса США (Congressional Budget Office) ввиду общего стабильного оздоровления экономики прогнозирует заметный рост в 2011 г. сегмента кондиционирования воздуха и коммерческого охлаждения по сравнению с показателями 2010 и 2009 гг. Что касается современных тенденций в климатической промышленности, сообщается, что особое внимание будет уделяться новым технологиям, прежде всего возобновляемым источникам энергии и «зеленым» инновационным решениям.

**ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫСТАВОЧНЫЙ КОМПЛЕКС**

Информация о строительных материалах и технологиях из «первых уст»



**У НАС ВЫ МОЖЕТЕ ЗАКАЗАТЬ:**

- Стенд на постоянно-действующей выставке
- Проведение мероприятий различного формата
- Страницу или мини-сайт на виртуальной выставке
- Маркетинговое исследование

197342, С-Петербург,  
ул. Торжковская, д. 5,  
(812) 324-99-97  
(812) 496-52-14  
(812) 496-52-15  
(812) 496-52-16  
adm@infstroy.ru



Организация и проведение профессиональных конкурсов.

[www.infstroy.ru](http://www.infstroy.ru)

