

УДК 628.8 +697.9

## Энергоэффективные режимы совместного функционирования центральной системы кондиционирования и местной рециркуляционной системы охлаждения

Канд. техн. наук, доцент **Коченков Н.В.** kochenkov63@mail.ru  
**Коченков В.Н.** rddr@mail.ru, **Шакиров Я.А.** ya.yashakirr@ya.ru  
**Александрова А.П.** alexaandrovaa@gmail.com  
Университет ИТМО  
191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

*Рассматривается математическое моделирование энергоэффективных режимов совместного функционирования центральной и местной систем кондиционирования. Используются идеальные модели этих систем. Энергоэффективность режимов оценивается с точки зрения потребляемых расходов теплоты, «холода», воздуха и воды при тепловлажностной обработке воздуха. В качестве местной системы принято оборудование, названное по той функции, которую оно выполняет, а именно – воздухоохладитель. Изложен принцип, на котором построен алгоритм управления этими системами. Показано, что режимы их функционирования зависят от принятой установочной производительности воздухоохладителя, а также от ограничения температуры по мокрому термометру адиабатно увлажняемого воздуха в центральной системе. Выделено три режима работы воздухоохладителя, а именно с минимальной, переменной и максимальной производительностями по «холоду». Также определены условия, при которых работа воздухоохладителя не требуется, и центральная система функционирует самостоятельно. Определяется момент включения воздухоохладителя в работу, а также его текущая производительность в каждый расчетный момент времени при изменении параметров наружного воздуха. Для каждого режима работы воздухоохладителя определены свои расчетные зоны климата, для которых разработаны математические модели режимов совместного функционирования центральной и местной систем. Материал статьи базируется на работах профессора А.А. Рымкевича.*

**Ключевые слова:** центральная система кондиционирования воздуха, центральный кондиционер, местная система, воздухоохладитель, энергоэффективные режимы функционирования, исходная и расчетная термодинамические схемы, моделирование совместного функционирования, расчетная зона климата.

DOI:10.17586/2310-1148-2016-9-4-43-56

---

## Energy efficiency modes of confunction of central air conditioning system and local recirculation cooling system

Ph.D. **Kochentkov N.V.** kochenkov63@mail.ru  
**Kochentkov V.N.** rddr@mail.ru, **Shakirov Ya.A.** ya.yashakirr@ya.ru  
**Aleksandrova A.P.** alexaandrovaa@gmail.com  
University ITMO  
191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

*The article deals with mathematical modeling of energy efficiency modes of confunction of local and central air conditioning systems. Using ideal models of these systems. Energy efficiency of modes is evaluated in terms of the costs of consumed heat, cold, air and water on treatment of air with steam and water. The equipment was selected as a local system, named for the function that it performs, namely - air cooler. The principle was set out on which based control algorithm these systems. The article shows that their modes of operation depend on the accepted setting performance of air cooler and the temperature limits on the wet bulb temperature adiabatically humidified air in the central system. Three modes of operation in the air cooler were allocated, namely with a minimum of variable and maximum cooling efficiency. The article also determined the conditions in which the work of the air cooler is not required, and central system functions independently. The switch-on time of air cooler is determined, also its current performance in each design moment when it changes the parameters of external air. For each mode of the air cooler was determined their estimated climate zones for which designed mathematical models of confunction modes of central and local systems. Article material is based on the work of Professor A.A. Rymkevich.*

**Keywords:** central air conditioning, central air conditioner, the local system, air cooler, energy efficiency modes of operation, the initial and calculated thermodynamic scheme, modeling of confunction, estimated climate zone.

---

### Введение

Рассматривается местно-центральная система кондиционирования воздуха (МЦ СКВ). В качестве центральной системы (ЦС) принята система, обеспечивающая подачу наружного воздуха в соответствии с существующими нормами и предусматривающая его тепло-влажностную обработку [1, 2]. Варианты технических исполнений ЦС могут быть различными. Например, это может быть центральная система кондиционирования воздуха (ЦСКВ), центральный кондиционер (ЦК), приточно-вытяжная установка, в том числе с рекуперацией тепла (HRV), или вентиляционная система с переменным расходом воздуха (VAV) [3, 4]. В статье будут использоваться термины ЦСКВ и ЦК. В качестве местной системы (МС) могут рассматриваться различные варианты рециркуляционных систем охлаждения воздуха в помещении (сплит-системы, мульти-сплит системы, VRF, чиллер-фанкойл и др.), включающие в себя источник холода (компрессорно-конденсаторный блок), подсистему его транспортировки к потребителю (фреоновые или водные коммуникации и сопутствующее им оборудование) и собственно само оборудование (местные рециркуляционные системы охлаждения), в котором реализуется процесс охлаждения рециркуляционного воздуха (внутренние блоки, фанкойлы и др.) [5, 6]. Последнее (т. е. оборудование) будем называть по той функции, которую оно выполняет, а именно – воздухоохладители (ВО). Конфигурацию МЦ СКВ будем обозначать как «ЦСКВ + ВО».

Не редко в литературе рассматриваются вопросы, касающиеся сравнительной оценки МС между собой [7, 8, 9]. Однако при этом не принимается во внимание ЦС и не рассматривается такой важный вопрос, как организация энергоэффективного совместного функционирования ЦС и МС. Более того этот вопрос практически не освещается в литературе, за исключением [10, 11, 12], и его стараются обойти стороной, сославшись на то, что автоматика сама справится с этой задачей. Но для этого должны быть разработаны соответствующие энергоэффективные алгоритмы совместного управления этими системами.

Цель статьи – рассмотреть вопрос, касающийся разработки энергоэффективных (с точки зрения расходов потребляемой теплоты, «холода», воздуха и воды) режимов совместного функционирования ЦС и ВО.

Материал статьи предполагает знакомство читателя с работами профессора А.А. Рымкевича [10, 13].

### Определение режимов функционирования ВО

Рассматривается помещение (или группа помещений с однохарактерными нагрузками в них) встроенного типа с постоянными тепловлажностными и газовыми нагрузками.

Рассматриваются идеальные модели ЦСКВ и ВО [10].

Расход воздуха через ЦК  $m_k$  в опорном варианте СКВ (в конфигурации «ЦСКВ») изменяется в течение года от минимального значения  $m_k^{\min}$ , соответствующего расходу воздуха в точке  $\check{P}_a$ , до максимального  $m_k^{\max}$ , соответствующего расходу воздуха в точке  $\check{P}_b$  (рис. 1). Здесь точки  $\check{P}_a$  и  $\check{P}_b$  являются местом пересечения исходной термодинамической схемы (ИТС) с линией  $\phi = 1$ . Это характерно для II (III) класса нагрузок в помещении, при которых опорная точка  $\check{N}_b$  ИТС находится ниже линии  $\phi = 1$ . Напомним, что для I класса нагрузок рассматривать конфигурацию «ЦСКВ + ВО» нецелесообразно [14]). На рис. 1 ИТС выделена черным цветом.

Значение  $m_k^{\max}$  может быть больше, чем расход воздуха в точке  $\check{P}_b$ , если увеличить максимально-целесообразный расход наружного воздуха  $m_{\check{H}}$ . В этом случае опорная точка  $\hat{N}_b$  будет располагаться выше точки  $\check{P}_b$ . Однако решение об увеличении значения  $m_k^{\max}(m_{\check{H}})$  должно иметь достаточные основания, так как это приведет к увеличению типоразмера ЦК. В статье этот случай рассматриваться не будет, для чего введено ограничение: точка  $\hat{N}_b$  совпадает с точкой  $\check{P}_b$ , а следовательно  $m_{\hat{H}} = m_{\check{P}_b}$ .

За счет использования ВО максимальный расход воздуха через ЦК  $m_k^{\max}$  может быть уменьшен до какого-то определенного значения  $m_{\check{P}_b^{\text{icc}}}$  (в зависимости от принятой установочной производительности  $q_{\text{во}}^{\text{уст}}$ ), где  $m_{\check{P}_a} \leq m_{\check{P}_b^{\text{icc}}} \leq m_{\check{P}_b}$ , и даже вплоть до минимально-неизбежного расхода наружного воздуха  $m_{\check{H}}$ . Механизм влияния удельной установочной холодопроизводительности ВО  $q_{\text{во}}^{\text{уст}}$  на значение  $m_{\check{P}_b^{\text{icc}}}$  был показан в [14]. Новое положение ИТС в конфигурации «ЦСКВ + ВО», обозначенное как ИТС<sup>icc</sup>, на рис. 1 показано коричневым цветом. Точка  $\check{P}_b^{\text{icc}}$  является местом пересечения отрезка  $Y_b \check{N}_b^{\text{icc}}$ , принадлежащего к ИТС<sup>icc</sup>, с линией  $\phi = 1$ .

Поскольку в опорном варианте СКВ значение  $m_k$  изменяется в пределах  $m_k^{\min} \leq m_k \leq m_k^{\max}$ , то обозначим через  $\check{P}_{\text{кр}}$  точку, принадлежащую ИТС и лежащую на линии  $\phi = 1$ , для которой расход воздуха через ЦК в опорном варианте  $m_k$  равен значению  $m_{\check{P}_b^{\text{icc}}}$  в конфигурации «ЦСКВ + ВО».

Особенность точки  $\ddot{\Pi}_{кр}$  состоит в том, что с ее помощью определяются режимы совместного функционирования ЦСКВ и ВО. На расположение точки  $\ddot{\Pi}_{кр}$  на линии  $\varphi = 1$  оказывают влияние два фактора: во-первых, установочная производительность ВО  $q_{во}^{уст}$  и, во-вторых, ограничение температуры по мокрому термометру  $t_M$  адиабатно увлажняемого воздуха в ЦК.

**Зависимость места расположения точки  $\ddot{\Pi}_{кр}$  на линии  $\varphi = 1$  от установочной производительности ВО.** Место расположения точки  $\ddot{\Pi}_{кр}$  на линии  $\varphi = 1$  зависит от расхода воздуха  $m_{\Pi_b^{ic}}$  в точке  $\ddot{\Pi}_b^{ic}$ , который в свою очередь определяется значением принятой установочной производительности ВО  $q_{во}^{уст}$ . Значение  $m_{\Pi_b^{ic}}$  рассчитывается по следующему уравнению [14]:

$$m_{\Pi_b^{ic}} = \frac{q_{\Pi} - q_{во}^{уст}}{I_{y_b} - I_{\Pi_b^{ic}}} = \frac{W_{\Pi}}{d_{y_b} - d_{\Pi_b^{ic}}}, \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2). \quad (1)$$

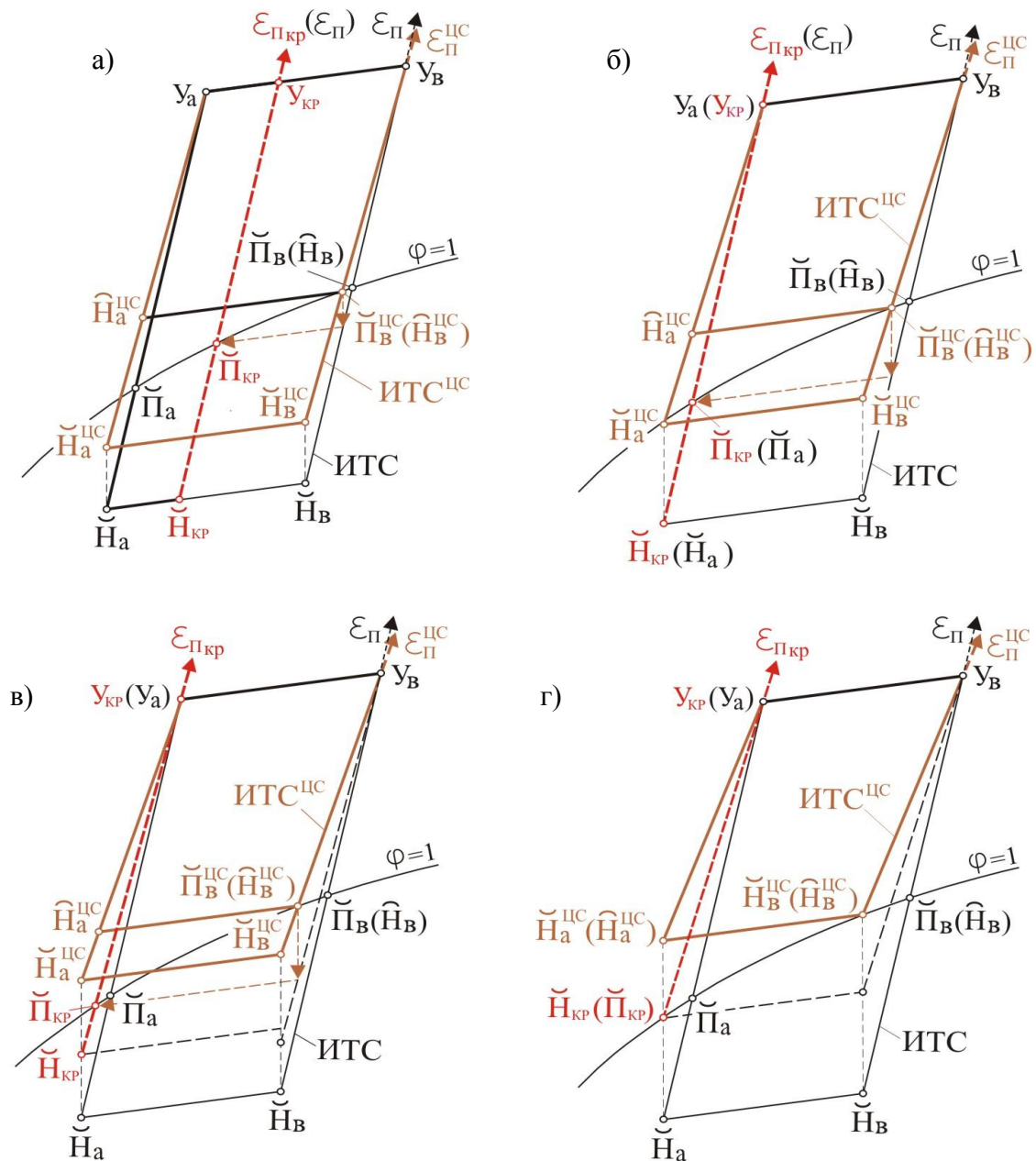


Рис. 1. Варианты расположения точки  $\ddot{\Pi}_{кр}$  на линии  $\varphi = 1$  в зависимости от значения  $q_{во}^{уст}$ :  
 а – при  $m_{\Pi_a} < m_{\Pi_{кр}} < m_{\Pi_b}$ ; б – при  $m_{\Pi_{кр}} = m_{\Pi_a}$ ; в – при  $m_{\Pi_b} < m_{\Pi_{кр}} < m_{\Pi_a}$ ; г – при  $m_{\Pi_{кр}} = m_{\Pi_b}$

В зависимости от расположения точки  $\check{\check{P}}_{кр}$  на линии  $\phi = 1$  относительно точки  $\check{\check{P}}_a$  (т. е. от соотношения расходов воздуха  $m_{\check{\check{P}}_{кр}}$  и  $m_{\check{\check{P}}_a}$ ) выделяются следующие четыре случая (см. рис. 1):

– точка  $\check{\check{P}}_{кр}$  располагается между точками  $\check{\check{P}}_a$  и  $\check{\check{P}}_b$  ( $m_{\check{\check{P}}_a} < m_{\check{\check{P}}_{кр}} < m_{\check{\check{P}}_b}$ ) (а);

– точка  $\check{\check{P}}_{кр}$  совпадает с точкой  $\check{\check{P}}_a$  ( $m_{\check{\check{P}}_{кр}} = m_{\check{\check{P}}_a}$ ) (б);

– точка  $\check{\check{P}}_{кр}$  располагается на линии  $\phi = 1$  ниже точки  $\check{\check{P}}_a$ , но правее линии постоянного влагосодержания  $d_{\check{\check{H}}_a}$ , проходящей через точку  $\check{\check{H}}_a$  ( $m_{\check{\check{H}}_a} < m_{\check{\check{P}}_{кр}} < m_{\check{\check{P}}_a}$ ) (в);

– точка  $\check{\check{P}}_{кр}$  лежит на линии постоянного влагосодержания  $d_{\check{\check{H}}_a}$  ( $m_{\check{\check{P}}_{кр}} = m_{\check{\check{H}}_a}$ ) (г)

Если точка  $\check{\check{P}}_a$  отсутствует, как, например, на рис. 2 при комбинации классов нагрузок (I+II), то выделяются следующие два случая:

– точка  $\check{\check{P}}_{кр}$  располагается между точкой пересечения отрезка  $\check{\check{H}}_a\check{\check{H}}_b$  с линией  $\phi = 1$  и точкой  $\check{\check{P}}_b$  ( $m_{\check{\check{H}}_a} < m_{\check{\check{P}}_{кр}} < m_{\check{\check{P}}_b}$ ) (а);

– точка  $\check{\check{P}}_{кр}$  находится в точке пересечения отрезка  $\check{\check{H}}_a\check{\check{H}}_b$  с линией  $\phi = 1$  ( $m_{\check{\check{P}}_{кр}} = m_{\check{\check{H}}_a}$ ) (б).

Задача определения места расположения точки  $\check{\check{P}}_{кр}$  на линии  $\phi = 1$  в зависимости от установочной производительности ВО формулируется следующим образом: *определить такое положение точки  $\check{\check{P}}_{кр}$  на линии  $\phi = 1$  в интервале  $d_{\check{\check{H}}_a} < d_{\check{\check{P}}_{кр}} < d_{\check{\check{P}}_b}$ , при котором будет выполняться следующее равенство:  $m_{\check{\check{P}}_{кр}} = m_{\check{\check{P}}_b^{ис}}$ . Значение  $m_{\check{\check{P}}_{кр}}$  при этом определяется по уравнению:*

$$m_{\check{\check{P}}_{кр}} = \frac{q_{II}}{I_{y_{кр}} - I_{\check{\check{P}}_{кр}}} = \frac{W_{II}}{d_{y_{кр}} - d_{\check{\check{P}}_{кр}}}, \text{ кг/(с}\cdot\text{м}^2), \quad (2)$$

где  $I_{y_{кр}}$ ,  $d_{y_{кр}}$  – энтальпия и влагосодержание точки  $y_{кр}$ .

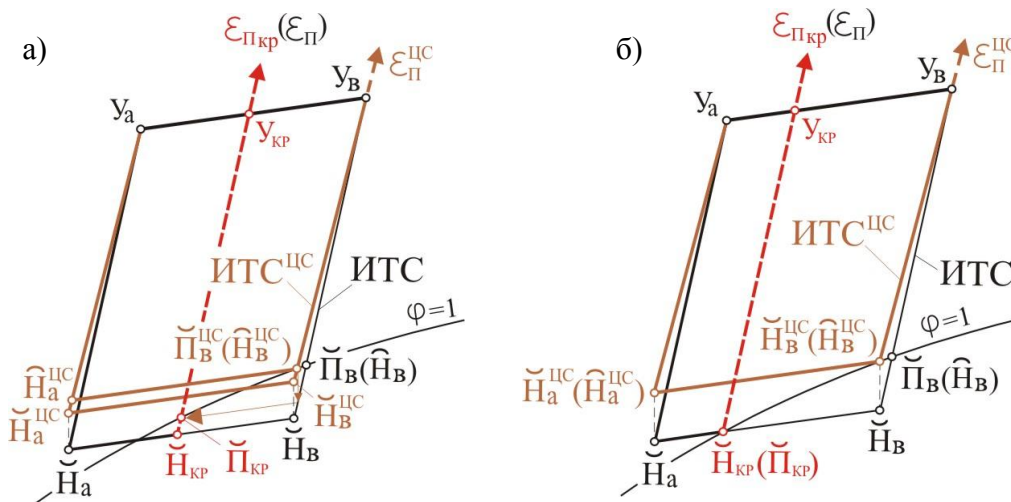


Рис. 2. Варианты расположения точки  $\check{\check{P}}_{кр}$  на линии  $\phi = 1$  в зависимости от значения  $q_{во}^{уст}$  для комбинации классов нагрузок (I+II) (т. е. при  $\phi_{\check{\check{H}}_a} < 100\%$ ):

а – при  $m_{\check{\check{H}}_a} < m_{\check{\check{P}}_{кр}} < m_{\check{\check{P}}_b}$ ; б – при  $m_{\check{\check{P}}_{кр}} = m_{\check{\check{H}}_a}$

Продemonстрируем, как можно определить положение точки  $\check{\check{P}}_{кр}$  графическим способом для случая, показанного на рис. 1,а. Так, с учетом принятого значения установочной производительности  $q_{во}^{уст}$  строится луч

процесса  $\varepsilon_{\Pi}^{\text{nc}}$ , где  $\varepsilon_{\Pi}^{\text{nc}} = (q_{\Pi} - q_{\text{во}}^{\text{yct}}) / W_{\Pi}$ , и определяется точка  $\check{\Pi}_{\text{в}}^{\text{nc}}$  как место пересечения этого луча с линией  $\varphi = 1$ . Точка  $\check{\Pi}_{\text{в}}^{\text{nc}}$  совпадает с точкой  $\check{H}_{\text{в}}^{\text{nc}}$ . Через точку  $\check{\Pi}_{\text{в}}^{\text{nc}}$  проводится линия постоянного влагосодержания  $d_{\check{\Pi}_{\text{в}}^{\text{nc}}}$  до пересечения с лучом процесса в помещении  $\varepsilon_{\Pi}$ . Через полученную точку пересечения проводится линия параллельная отрезку  $\check{H}_{\text{а}}\check{H}_{\text{в}}$ . Пересечением этой линии с  $\varphi = 1$  является искомая точка  $\check{\Pi}_{\text{кр}}$ . Через точку  $\check{\Pi}_{\text{кр}}$  проводится луч процесса в помещении  $\varepsilon_{\Pi_{\text{кр}}}$ , совпадающий с  $\varepsilon_{\Pi}$  (значения угловых коэффициентов лучей процессов  $\varepsilon_{\Pi_{\text{кр}}}$  и  $\varepsilon_{\Pi}$  равны), и находится положение точек  $\check{H}_{\text{кр}}$ ,  $Y_{\text{кр}}$ . Точки  $\check{\Pi}_{\text{кр}}$ ,  $\check{H}_{\text{кр}}$  и  $Y_{\text{кр}}$  соединяются пунктирной линией. Эта линия выделена красным цветом на всех рисунках, кроме рис. 3.

Аналогично выполняются построения, показанные на рис. 1,б, где искомые точки  $\check{H}_{\text{кр}}$ ,  $\check{\Pi}_{\text{кр}}$ ,  $Y_{\text{кр}}$  будут совпадать с опорными точками  $\check{H}_{\text{а}}$ ,  $\check{\Pi}_{\text{а}}$ ,  $Y_{\text{а}}$ , соответственно.

Определение положения точки  $\check{\Pi}_{\text{кр}}$  для случая, показанного на рис. 1,в, графическим способом весьма затруднительно, поскольку неизвестно положение луча процесса  $\varepsilon_{\Pi_{\text{кр}}}$ , который уже не будет совпадать с лучом  $\varepsilon_{\Pi}$ . Однако поскольку положение точки  $Y_{\text{кр}}$  известно (точка  $Y_{\text{кр}}$  будет совпадать с точкой  $Y_{\text{а}}$ ), то определить положение точки  $\check{\Pi}_{\text{кр}}$  можно как место пересечения линии постоянного влагосодержания  $d_{\check{\Pi}_{\text{кр}}}$  (см. рис. 1,в) с линией  $\varphi = 1$ . Значение  $d_{\check{\Pi}_{\text{кр}}}$  определяется из уравнения (2) следующим образом:

$$d_{\check{\Pi}_{\text{кр}}} = d_{Y_{\text{кр}}} - W_{\Pi} / m_{\check{\Pi}_{\text{кр}}}, \text{ г/кг.} \quad (3)$$

Положение точки  $\check{H}_{\text{кр}}$  определяется как место пересечения луча процесса  $\varepsilon_{\Pi_{\text{кр}}}$ , проведенного через точки  $Y_{\text{кр}}$  и  $\check{\Pi}_{\text{кр}}$ , с линией постоянного влагосодержания  $d_{\check{H}_{\text{а}}}$ .

Для случая, показанного на рис. 1,г, положение точки  $\check{\Pi}_{\text{кр}}$  определяется как пересечение линии  $\varphi = 1$  с линией постоянного влагосодержания  $d_{\check{H}_{\text{а}}}$ . Точка  $Y_{\text{кр}}$  совпадает с точкой  $Y_{\text{а}}$ , а точка  $\check{H}_{\text{кр}}$  – с точкой  $\check{\Pi}_{\text{кр}}$ .

**Зависимость места расположения точки  $\check{\Pi}_{\text{кр}}$  на линии  $\varphi = 1$  от ограничения температуры по мокрому термометру  $t_{\text{М}}$ .** На расположение точки  $\check{\Pi}_{\text{кр}}$  на линии  $\varphi = 1$  оказывает влияние не только установочная производительность ВО, но и ограничение температуры по мокрому термометру  $t_{\text{М}}$  адиабатно увлажняемого воздуха в ЦК. Механизм влияния  $t_{\text{М}}$  на расход воздуха через ЦК был рассмотрен в [14]. Под влиянием этого ограничения увеличивается расход воздуха  $m_{\check{\Pi}_{\text{в}}^{\text{nc}}}$ , а, следовательно, и значение  $m_{\check{\Pi}_{\text{кр}}}$ . В результате увеличенному расходу  $m_{\check{\Pi}_{\text{кр}}}$  соответствует более высокое расположение точки  $\check{\Pi}_{\text{кр}}$  на линии  $\varphi = 1$ . В предельном случае, когда точки  $\check{\Pi}_{\text{кр}}$  и  $\check{\Pi}_{\text{в}}$  совпадут, принимать во внимание конфигурацию «ЦСКВ + ВО» станет нецелесообразным, поскольку уменьшить максимальный расход воздуха через ЦК  $m_{\text{к}}^{\text{max}}$  за счет ВО не удастся.

Определение расположения точки  $\check{\Pi}_{\text{кр}}$  при учете влияния ограничения по  $t_{\text{М}}$  графическим способом весьма затруднительно и эта задача должна решаться аналитически, например, итерационным путем, где условием окончания итерации служит равенство производительностей по воздуху в точках  $\check{\Pi}_{\text{кр}}$  и  $\check{\Pi}_{\text{в}}^{\text{nc}}$ .

*Зависимости расположения точки  $\check{\Pi}_{\text{кр}}$  от установочной производительности ВО, с одной стороны, и от ограничения по температуре  $t_{\text{М}}$ , с другой стороны, в формализованном виде являются основой для математического моделирования совместного функционирования ЦСКВ и ВО.*

Фрагмент алгоритма определения режимов функционирования для ВО приведен на рис. 3. Рассмотрим работу этого алгоритма.

В блоке 1 определяется положение точки климата  $H_i$  относительно энтальпии  $I_{\check{\Pi}_{\text{кр}}}$ . Если условие в блоке 1 выполняется, то в зависимости от соотношения расходов воздуха  $m_{\check{\Pi}_{\text{а}}}$  и  $m_{\check{\Pi}_{\text{кр}}}$  (блок 2) (т. е. в зависимости от расположения точки  $\check{\Pi}_{\text{кр}}$  на линии  $\varphi = 1$  относительно точки  $\check{\Pi}_{\text{а}}$ ) могут иметь место два следующих режима функционирования ВО:

- ВО выключен, т. е. его текущая производительность  $q_{\text{во}_i}$  в  $i$ -й момент времени равна нулю; точка климата  $H_i$  относится к расчетной зоне « $q_{\text{во}} = 0$ » (блок 3);
- ВО работает с минимальной постоянной производительностью; точка климата  $H_i$  относится к расчетной зоне « $q_{\text{во}} = \text{min}$ » (блок 4).

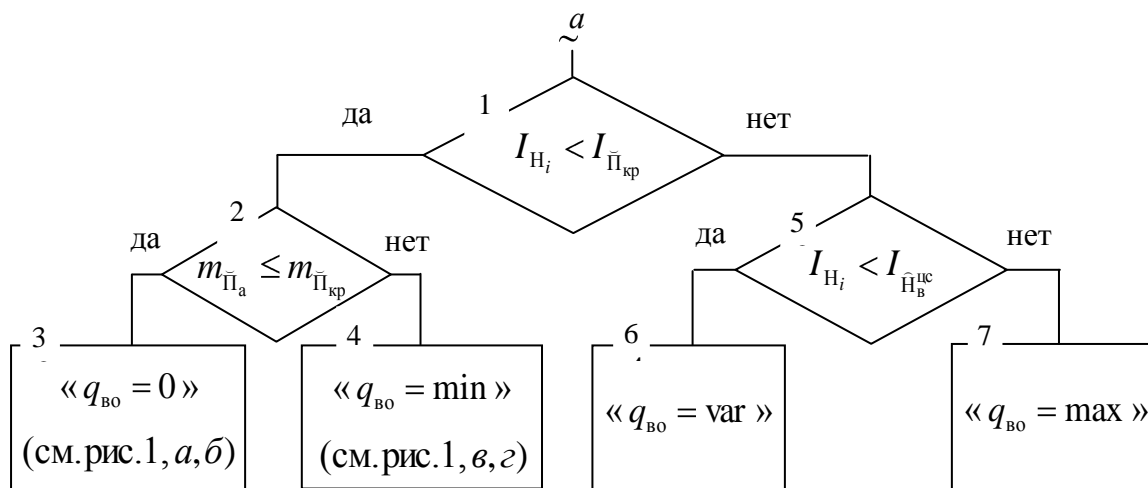


Рис. 3. Фрагмент алгоритма определения режимов функционирования ВО

Если же условие в блоке 1 не выполняется, то в зависимости от расположения точки климата  $H_i$  относительно энтальпии  $I_{\bar{H}_B^{nc}}$  точки  $H_B^{nc}$  (блоке 5) могут иметь место два других режима функционирования ВО:

- ВО работает с переменной производительностью; точка климата  $H_i$  относится к расчетной зоне « $q_{\text{во}} = \text{var}$ » (блок 6);
- ВО работает с максимальной производительностью; точка климата  $H_i$  относится к расчетной зоне « $q_{\text{во}} = \text{max}$ » (блок 7).

*Задача распознавания расчетных зон для модели ВО – второй важный момент, который должен быть реализован при математическом моделировании совместного функционирования ЦСКВ и ВО.*

На основе ИТС, показанных на рис. 1, 2, строятся соответствующие расчетные термодинамические схемы (РТС) для модели ВО (рис. 4-8), где область климата разделена на расчетные зоны (они выделены разным цветом, в том числе белым), для каждой из которых характерен свой режим функционирования ВО.

*Математические модели по каждой расчетной зоне для ВО – третье, что должно быть реализовано при математическом моделировании совместного функционирования ЦСКВ и ВО.*

### Совмещенные РТС для моделей ЦСКВ и ВО

Совмещенными РТС называются такие построения на  $I-d$ -диаграмме, которые разделяют область климата на расчетные зоны отдельно для модели ЦСКВ и отдельно для модели ВО (см. рис. 4-8), после чего полученные расчетные зоны накладываются друг на друга, определяя, таким образом, режимы совместного функционирования центральной системы и ВО. Для модели ВО расчетные зоны выделены разным цветом (в том числе белым), а их условное обозначение показано в прямоугольнике с желтым фоном. Для модели ЦСКВ приведены только границы расчетных зон, а их условные обозначения показаны в кружках. На рис. 4-8 границы расчетных зон для модели ЦСКВ показаны применительно к дополнительной ранжировки технологических параметров в виде  $PA-2m_k$  [11], при которой расход наружного воздуха принимается равным расходу воздуха через ЦК (это сделано для того, чтобы не усложнять излагаемый материал).

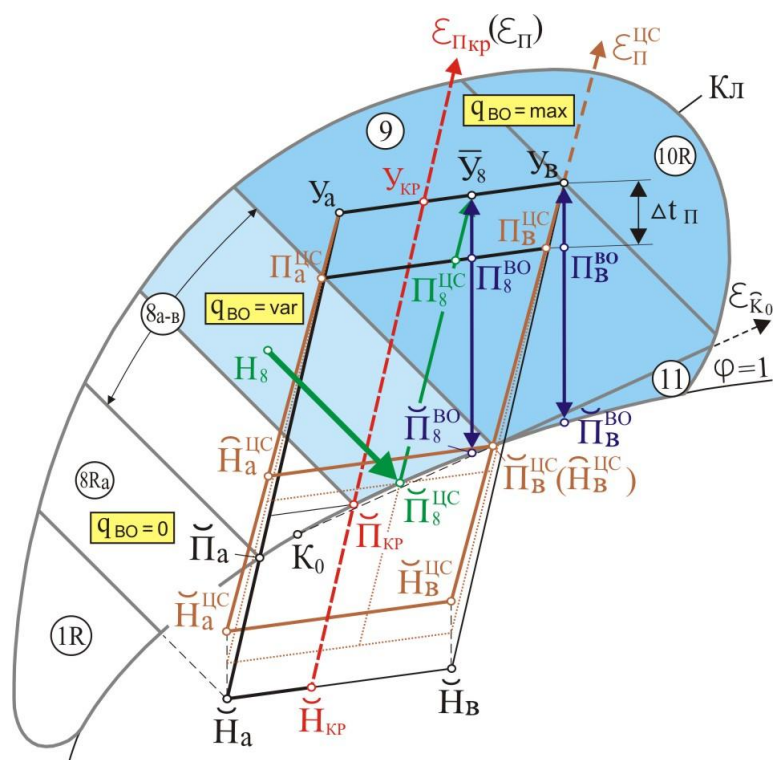


Рис. 4. Совмещенные РТС для моделей ЦСКВ и ВО при  $m_{\Pi_a} < m_{\Pi_{кр}} < m_{\Pi_B}$  (см. также рис. 1,а)

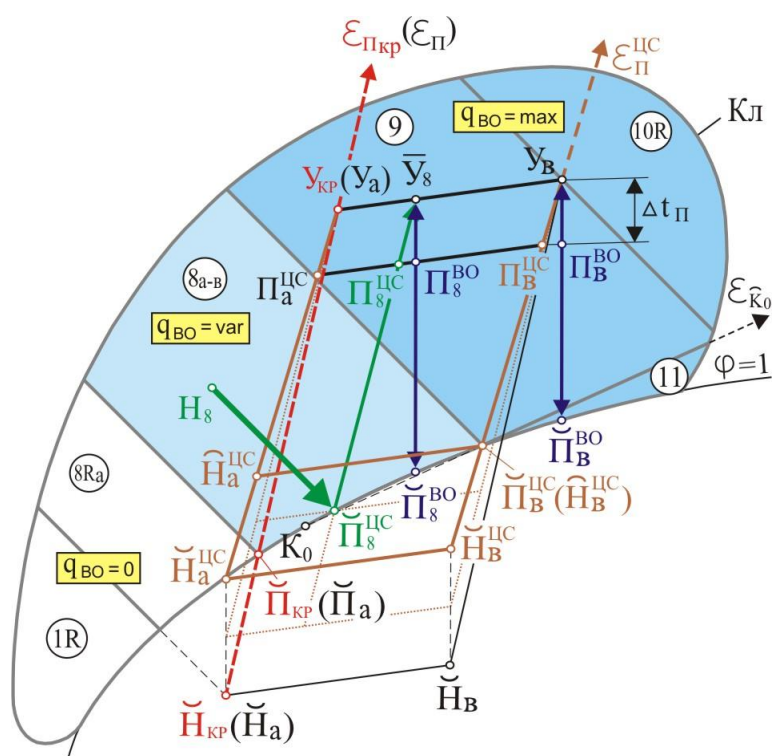


Рис. 5. Совмещенные РТС для моделей ЦСКВ и ВО при  $m_{\Pi_{кр}} = m_{\Pi_a}$  (см. также рис. 1,б)

**Расчетная зона « $q_{\text{BO}} = 0$ »** (рис. 4, 5, 6). Для точки климата  $H_i$ , принадлежащей к этой расчетной зоне, ВО не работает (поэтому эта зона выделена белым цветом), а ИТС<sup>иц</sup> занимает положение, соответствующее ИТС для опорного варианта, т. е. когда ЦСКВ функционирует самостоятельно.

Расчетные зоны для модели ЦСКВ определяются так, как это было показано в [15]. При этом, в зависимости от энтальпии точки климата  $H_i$  в зоне « $q_{\text{BO}} = 0$ », могут быть следующие расчетные зоны для модели ЦСКВ: зоны с потреблением теплоты 1R (рис. 4, 5), 1, 2 (рис. 6), зоны без потребления теплоты и «холода» 8R<sub>a</sub> (рис. 4, 5), б (рис. 6) и частично 8<sub>a-в</sub> (рис. 6,а).

Векторы режимов и процессов для модели ЦСКВ в расчетной зоне « $q_{\text{BO}} = 0$ » на рис. 4-6 не показаны. Нанесена только точка приточного воздуха  $\Pi_a^{\text{иц}}$ , получаемая в результате этих процессов.

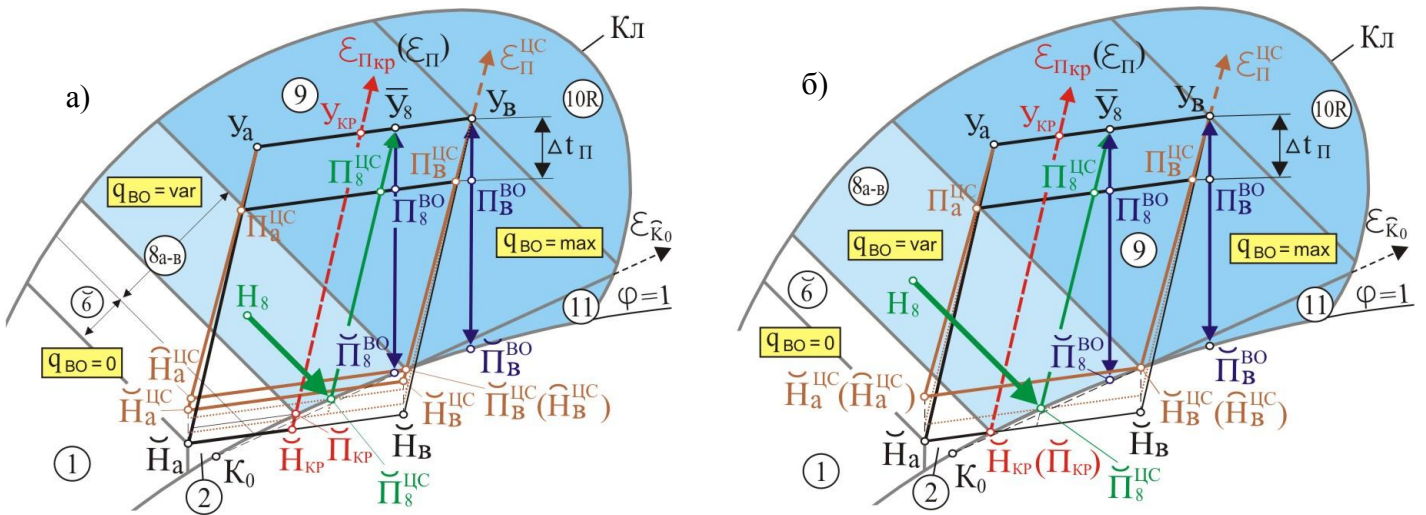


Рис. 6. Совмещенные РТС для моделей ЦСКВ и ВО при  $\varphi_{H_a} < 100\%$  (см. также рис. 2, а, б): а – при  $m_H < m_{\text{Пкр}} < m_{\text{Па}}$ ; б – при  $m_{\text{Пкр}} = m_H$

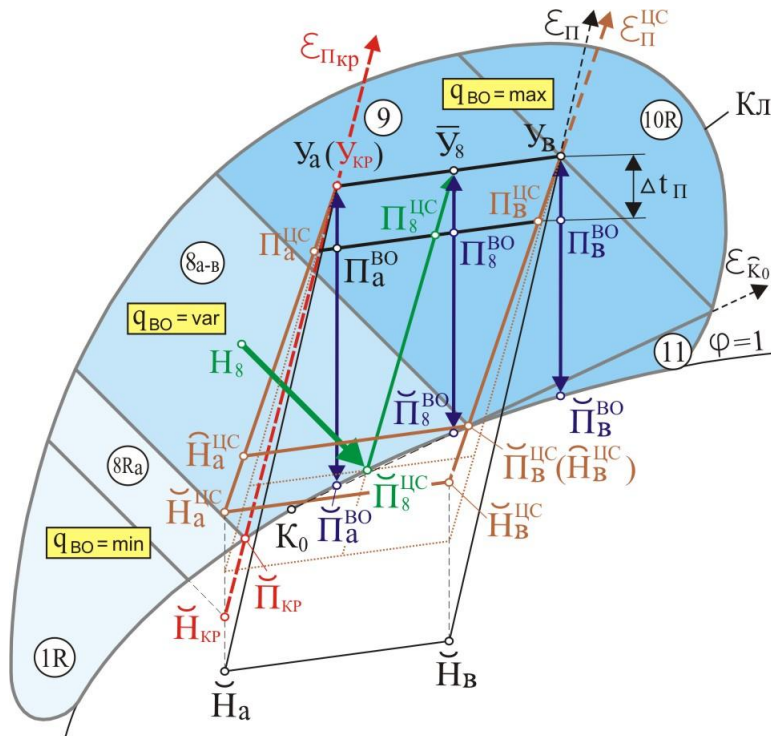


Рис. 7. Совмещенные РТС для моделей ЦСКВ и ВО при  $m_H < m_{\text{Пкр}} < m_{\text{Па}}$  (см. также рис. 1, в)



**Расчетная зона « $q_{\text{во}} = \min$ »** (рис. 7, 8). Для точки климата  $H_7$ , принадлежащей к этой расчетной зоне, самостоятельное функционирование ЦСКВ без ВО невозможно, поскольку значение  $m_k^{\max}$  в конфигурации «ЦСКВ + ВО» меньше, чем минимальная производительность ЦК по воздуху в опорном варианте, определяемая расходом воздуха  $m_{\check{\Pi}_a}$  в точке  $\check{\Pi}_a$  (при условии отсутствия ограничения по температуре  $t_M$ ). В этом случае требуется работа ВО с определенной минимальной производительностью для того, чтобы обеспечить увеличение наклона луча процесса с  $\varepsilon_{\check{\Pi}}$  до  $\varepsilon_{\check{\Pi}_{\text{кр}}}$  (см. так же рис. 1, в).

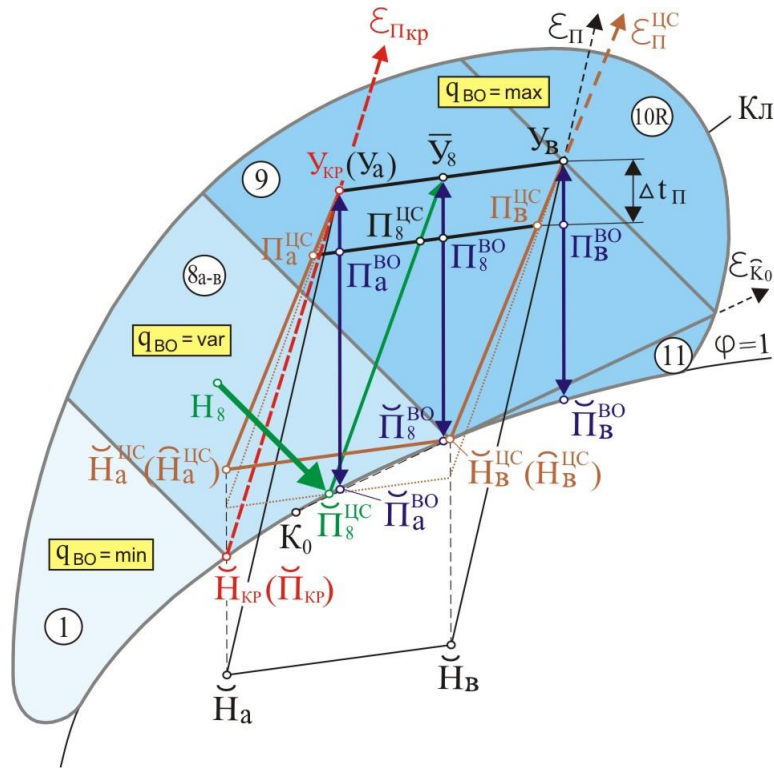


Рис. 8. Совмещенные РТС для моделей ЦСКВ и ВО при  $m_{\check{\Pi}_{\text{кр}}} = m_{H_8}$  (см. также рис.1,г)

Предельный случай увеличения наклона луча процесса показан на рис. 8, а также на рис. 1, з. Здесь установочная производительность ВО принята такой, чтобы значение  $m_k^{\max}$  могло быть уменьшено до минимально-неизбежного расхода наружного воздуха  $m_{H_8}$ , т. е. в ЦК стало бы возможным использование прямоточной схемы (без I рециркуляции).

Условное обозначение режима функционирования для ВО в расчетной зоне « $q_{\text{во}} = \min$ »:

$$Y_a \ni q_X^{\text{BO}} m_{R1}^{\text{BO}},$$

где  $q_X^{\text{BO}}$  – удельный расход «холода» в ВО, кВт/м<sup>2</sup>;  $m_{R1}^{\text{BO}}$  – удельный расход воздуха I рециркуляции в ВО, кг/(с·м<sup>2</sup>).

Вектором режима функционирования ВО служит процесс охлаждения рециркуляционного воздуха в ВО (вектор  $Y_a \check{\Pi}_a^{\text{BO}}$ ):

$$(\cdot) Y_a (m_{R1}^{\text{BO}}) \rightarrow q_X^{\text{BO}} = (\cdot) \check{\Pi}_a^{\text{BO}} (m_{R1}^{\text{BO}}), \tag{4}$$

где  $m_{R1}^{\text{BO}} = q_X^{\text{BO}} / (I_{Y_a} - I_{\check{\Pi}_a^{\text{BO}}})$ , кг/(с·м<sup>2</sup>).

Расход «холода»  $q_X^{\text{BO}}$  в идеальной модели ВО рассчитывается по уравнению:

$$q_X^{\text{BO}} = q_{\check{\Pi}} - m_k^{\max} (I_{Y_a} - I_{\check{\Pi}_{\text{кр}}}), \tag{5}$$

Значение  $q_x^{BO}$  в расчетной зоне « $q_{BO} = \min$ » будет постоянным, т. е. ВО работает с определенной минимальной производительностью.

После охлаждения рециркуляционного воздуха до состояния в точке  $\check{\Pi}_a^{BO}$  его параметры доводятся до требуемого значения по температуре в точке  $\Pi_a^{BO}$  за счет использования воздуха  $\Pi$  рециркуляции  $m_{R2}^{BO}$  (векторы процесса смешения  $\check{\Pi}_a^{BO}\Pi_a^{BO}$  и  $Y_a\Pi_a^{BO}$ ):

$$(\cdot)\check{\Pi}_a^{BO}(m_{R1}^{BO}) + (\cdot)Y_a(m_{R2}^{BO}) = (\cdot)\Pi_a^{BO}(m_{\Pi_a^{BO}}),$$

где

$$m_{R2}^{BO} = m_{\Pi_a^{BO}} - m_{R1}^{BO}, \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2);$$

$$m_{\Pi_a^{BO}} = \frac{q_x^{BO}}{I_{Y_a} - I_{\Pi_a^{BO}}}, \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2). \quad (6)$$

В расчетной зоне « $q_{BO} = \min$ » ЦСКВ функционирует с постоянной максимальной производительностью по воздуху  $m_k^{\max}$  ( $m_{\Pi_{кр}}$ ). ИТС $_{i}^{ic}$  представляет собой отрезок  $Y_{кр}\check{H}_{кр}$  и занимает положение, показанное пунктирной красной линией (см. рис. 7, 8, а также рис. 1, в, з). Расчетные зоны для модели ЦСКВ определяются так, как в [15]. При этом в зависимости от энтальпии точки  $H_i$  в зоне « $q_{BO} = \min$ » могут быть следующие расчетные зоны для модели ЦСКВ: 1R (рис. 7), 1 (рис. 8) или зона без потребления теплоты и «холода»  $8R_a$  (рис. 7).

Векторы режимов и процессов для модели ЦСКВ в расчетной зоне « $q_{BO} = \min$ » на рис. 7, 8 не показаны. Нанесена только точка приточного воздуха  $\Pi_a^{ic}$ , получаемая в результате этих процессов.

Процессы ассимиляции тепло- ( $q_{\Pi}$ ) и влагоизбытков ( $W_{\Pi}$ ) в помещении с учетом двухпоточного воздухо-распределения от ЦСКВ и ВО записываются следующим образом:

$$\begin{matrix} (\cdot)\Pi_a^{ic}(m_{\Pi_a^{ic}}) \\ (\cdot)\Pi_a^{BO}(m_{\Pi_a^{BO}}) \end{matrix} \rightarrow q_{\Pi}, W_{\Pi} = (\cdot)\bar{Y}_a.$$

В помещении поддерживаются параметры воздуха в точке  $Y_a$ .

**Расчетная зона « $q_{BO} = \text{var}$ ».** Для точки климата  $H_i$ , принадлежащей к этой расчетной зоне, ВО работает с переменной производительностью, а ЦСКВ – с постоянной максимальной производительностью по воздуху  $m_k^{\max}$  ( $m_{\Pi_{кр}}$ ). При этом тепловая нагрузка, приходящаяся на ЦСКВ в  $i$ -й момент времени  $q_{\Pi_i}^{ic}$ , рассчитывается по формуле:

$$q_{\Pi_i}^{ic} = m_k^{\max}(I_{\bar{Y}_i} - I_{\Pi_i^{ic}}), \text{ кВт}/\text{м}^2, \quad (7)$$

где  $d_{\bar{Y}_i}$ ,  $I_{\bar{Y}_i}$  – влагосодержание и энтальпия точки  $\bar{Y}_i$ , поддерживаемой в помещении в  $i$ -й момент времени (рис. 9);  $d_{\Pi_i^{ic}}$ ,  $I_{\Pi_i^{ic}}$  – влагосодержание и энтальпия точки  $\check{\Pi}_i^{ic}$  в  $i$ -й момент времени.

Текущее положение ИТС $_{i}^{ic}$  изменяется в интервале  $\text{ИТС} \leq \text{ИТС}_{i}^{ic} \leq \text{ИТС}^{ic}$  таким образом, что для каждого  $i$ -го момента времени ИТС $_{i}^{ic}$  занимает определенное положение, соответствующее энтальпии наружного воздуха  $I_{H_i}$ . Одно из таких положений показано тонкой точечной линией коричневого цвета на рис. 4-8.

Переменное положение ИТС $_{i}^{ic}$  обусловлено тем, что, поскольку ЦК функционирует с постоянной максимальной производительностью по воздуху  $m_k^{\max}$  ( $m_{\Pi_{кр}}$ ), то с изменением энтальпии наружного воздуха  $I_{H_i}$  должно изменяться и положение точки  $\bar{Y}_i$  на отрезке  $Y_{кр}Y_v$  (см. рис. 9). При этом точка  $\bar{Y}_i$  должна перемещаться по отрезку  $Y_{кр}Y_v$ , точка  $\check{\Pi}_i^{ic}$  – по линии  $\phi = 1$  в интервале между точками  $\check{\Pi}_{кр}$  и  $\check{\Pi}_v^{ic}$ , а луч процесса  $\varepsilon_{\Pi_i}^{ic}$  должен изменять свой наклон в интервале:  $\varepsilon_{\Pi}^{ic} \leq \varepsilon_{\Pi_i}^{ic} \leq \varepsilon_{\Pi}$ .

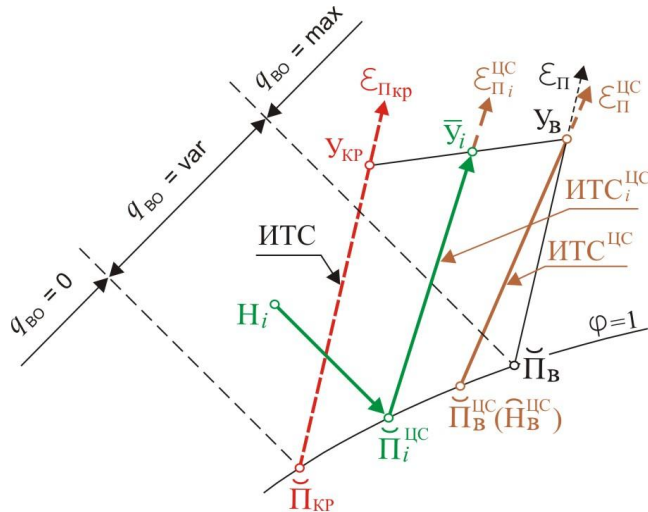


Рис. 9. Определение положения отрезка  $\bar{Y}_i \tilde{\Pi}_i^{nc}$

Для обеспечения требуемого положения ИТС<sub>i</sub><sup>nc</sup> с лучом процесса  $\epsilon_{\Pi_i}^{nc}$  ВО должен работать в каждый *i*-й момент времени с определенной производительностью, значение которой рассчитывается следующим образом:

$$q_{x_i}^{bo} = q_{\Pi} - q_{\Pi_i}^{nc} = q_{\Pi} - m_k^{max} (I_{\bar{Y}_i} - I_{\tilde{\Pi}_i^{nc}}), \text{ кВт/м}^2. \tag{8}$$

Значение  $m_k^{max}$  в уравнении (8) равно  $m_{\tilde{\Pi}_{кр}} (m_{\hat{H}})$ .

Здесь правомерна постановка следующей задачи: *определить такое значение  $q_{\Pi_i}^{nc}$ , чтобы производительность ЦК по воздуху для точек климата  $H_i$ , принадлежащих к расчетной зоне « $q_{во} = var$ », оставалась постоянной и равной  $m_k^{max} (m_{\tilde{\Pi}_{кр}})$ .*

С геометрической точки зрения решить эту задачу означает (см. рис. 9) найти такой угол наклона луча процесса  $\epsilon_{\Pi_i}^{nc}$ , при котором отрезок  $\bar{Y}_i \tilde{\Pi}_i^{nc}$  имел бы постоянную длину по влагосодержанию ( $d_{\bar{Y}_i} - d_{\tilde{\Pi}_i^{nc}}$ ), равную ( $d_{Y_{кр}} - d_{\tilde{\Pi}_{кр}}$ ), и занимал бы следующее положение: точка  $\tilde{\Pi}_i^{nc}$  лежала бы на линии  $\phi = 1$ , а точка  $\bar{Y}_i$  – на отрезке  $Y_{кр} Y_B$ .

Определение положения точки  $\bar{Y}_i$ . Для заданных значений  $q_{\Pi}$ ,  $W_{\Pi}$ ,  $m_{\hat{H}}$  положение точки  $\bar{Y}_i$  зависит от установочной производительности ВО и энтальпии точки климата  $H_i$ .

Энтальпия точки  $\bar{Y}_i$  рассчитывается по следующему уравнению (напомним, что длина отрезка [ $d_{\bar{Y}_i} - d_{\tilde{\Pi}_i^{nc}}$ ] должна сохраняться постоянной):

$$d_{\bar{Y}_i} = d_{\tilde{\Pi}_i^{nc}} + \frac{W_{\Pi_i}^{nc}}{m_k^{max}} = d_{\tilde{\Pi}_i^{nc}} + \frac{W_{\Pi}}{m_k^{max}}, \text{ г/кг}. \tag{9}$$

Вторая координата точки  $\bar{Y}_i$  (энтальпия  $I_{\bar{Y}_i}$ ), определяется из соотношения:

$$\frac{I_{\bar{Y}_i} - I_{Y_{кр}}}{I_{Y_B} - I_{Y_{кр}}} = \frac{d_{\bar{Y}_i} - d_{Y_{кр}}}{d_{Y_B} - d_{Y_{кр}}}.$$

Откуда:

$$I_{\bar{Y}_i} = \frac{(d_{\bar{Y}_i} - d_{Y_{кр}})(I_{Y_B} - I_{Y_{кр}})}{d_{Y_B} - d_{Y_{кр}}} + I_{Y_{кр}}. \tag{10}$$

Положение точки  $\tilde{\Pi}_i^{nc}$  определяется как место пересечения энтальпии  $I_{H_i}$  и линии  $\phi = 1$ .

При заданной установочной производительности ВО положение точки  $\bar{Y}_i$  и соответствующей ей точки  $\check{\Pi}_i^{ic}$  будет изменяться в зависимости от энтальпии точки климата  $H_i$ . При этом будет изменяться и положение ИТС $_{i}^{ic}$ , а, следовательно, и режим функционирования ЦСКВ и ВО.

Расчетной зоной для модели ЦСКВ в зоне « $q_{vo} = var$ » является зона  $\delta_{a-b}$  [15].

Рассмотрим совместные режимы функционирования ВО и ЦСКВ.

Условное обозначение режима функционирования ВО в расчетной зоне « $q_{vo} = var$ »:  $\bar{Y}_8 \supseteq q_x^{bo} m_{R1}^{bo}$ , где индекс «8» означает расчетную зону  $\delta_{a-b}$ .

Вектором режима функционирования служит процесса охлаждения рециркуляционного воздуха в ВО (вектор  $\bar{Y}_8 \check{\Pi}_8^{bo}$ ):

$$(\cdot)\bar{Y}_8(m_{R1}^{bo}) \rightarrow q_x^{bo} = (\cdot)\check{\Pi}_8^{bo}(m_{R1}^{bo}).$$

Значение  $m_{R1}^{bo}$  определяются следующим образом:

$$m_{R1}^{bo} = q_x^{bo} / (I_{\bar{Y}_8} - I_{\check{\Pi}_8^{bo}}), \text{ кг/(с}\cdot\text{м}^2). \quad (11)$$

Расход «холода»  $q_x^{bo}$  для идеальной модели ВО рассчитывается по уравнению (8), где вместо индекса «i» подставляется «8».

После охлаждения рециркуляционного воздуха до состояния в точке  $\check{\Pi}_8^{bo}$  его параметры доводятся до требуемого значения по температуре за счет использования воздуха  $\Pi$  рециркуляции  $m_{R2}^{bo}$  (векторы процесса смешения  $\check{\Pi}_8^{bo} \Pi_8^{bo}$  и  $\bar{Y}_8 \Pi_8^{bo}$ ):

$$(\cdot)\check{\Pi}_8^{bo}(m_{R1}^{bo}) + (\cdot)\bar{Y}_8(m_{R2}^{bo}) = (\cdot)\Pi_8^{bo}(m_{\Pi_8^{bo}}),$$

где  $m_{R2}^{bo} = m_{\Pi_8^{bo}} - m_{R1}^{bo}$ , кг/(с·м<sup>2</sup>);

$$m_{\Pi_8^{bo}} = \frac{q_x^{bo}}{I_{\bar{Y}_8} - I_{\check{\Pi}_8^{bo}}}, \text{ кг/(с}\cdot\text{м}^2). \quad (12)$$

Векторы режимов и процессов для модели ЦСКВ в расчетной зоне « $q_{vo} = var$ » показаны на рис. 4-8. Поясним их.

Условное обозначение режима функционирования ЦСКВ:  $\bar{Y}_8 \supseteq m_{W_{ад}}^{ic} m_{\check{H}}$ .

Здесь  $m_k^{max} = m_{\check{H}}$ , а вектором режима функционирования ЦСКВ служит вектор процесса адиабатного увлажнения в ЦК (вектор  $H_8 \check{\Pi}_8^{ic}$ ):

$$(\cdot)H_8(m_{\check{H}}) \rightarrow m_{W_{ад}}^{ic} = (\cdot)\check{\Pi}_8^{ic}(m_{\check{H}}),$$

где  $m_{W_{ад}}^{ic} = m_{\check{H}}(d_{\check{\Pi}_8^{ic}} - d_{H_8}) = m_{\check{H}}(d_{\bar{Y}_8} - d_{H_8}) - W_{\Pi}$ , г/(с·м<sup>2</sup>).

Параметры воздуха в точке  $\check{\Pi}_8^{ic}$  доводятся до требуемого значения по температуре за счет использования воздуха  $\Pi$  рециркуляции  $m_{R2}^{ic}$  (векторы процесса смешения  $\check{\Pi}_8^{ic} \Pi_8^{ic}$  и  $\bar{Y}_8 \Pi_8^{ic}$ ):

$$(\cdot)\check{\Pi}_8^{ic}(m_{\check{H}}) + (\cdot)\bar{Y}_8(m_{R2}^{ic}) = (\cdot)\Pi_8^{ic}(m_{\Pi_8^{ic}}),$$

где  $m_{R2}^{ic} = m_{\Pi_8^{ic}} - m_{\check{H}}$ , кг/(с·м<sup>2</sup>);

$$m_{\Pi_8^{ic}} = q_{\Pi} / (I_{\bar{Y}_8} - I_{\check{\Pi}_8^{ic}}), \text{ кг/(с}\cdot\text{м}^2).$$

Процессы ассимиляции тепло- ( $q_{\Pi}$ ) и влагоизбытков  $W_{\Pi}$  в помещении при соответствующей организации двухпоточного воздушораспределения от ЦСКВ и от ВО записываются следующим образом (векторы процессов ассимиляции  $\Pi_8^{ic} \bar{Y}_8$  и  $\Pi_8^{bo} \bar{Y}_8$ ):

$$\begin{matrix} (\cdot)\Pi_8^{ic}(m_{\Pi_8^{ic}}) \\ (\cdot)\Pi_8^{bo}(m_{\Pi_8^{bo}}) \end{matrix} \rightarrow q_{\Pi}, W_{\Pi} = (\cdot)\bar{Y}_8.$$

В помещении поддерживаются параметры в точке  $\bar{Y}_g$ .

**Расчетная зона « $q_{во} = \max$ ».** Для точки наружного климата  $H_i$ , принадлежащей к этой расчетной зоне, ВО работает с максимальной (установочной) производительностью.

Условное обозначение режима функционирования:  $Y_B \supseteq q_x^{BO} m_{R1}^{BO}$ .

Вектором режима функционирования ВО служит вектор  $Y_B \check{\Pi}_B^{BO}$  процесса охлаждения рециркуляционного воздуха в ВО:

$$(\cdot)Y_B(m_{R1}^{BO}) \rightarrow q_x^{BO} = (\cdot)\check{\Pi}_B^{BO}(m_{R1}^{BO}),$$

где  $m_{R1}^{BO} = q_x^{BO} / (I_{Y_B} - I_{\check{\Pi}_B^{BO}})$ , кг/(с·м<sup>2</sup>).

После охлаждения рециркуляционного воздуха до состояния в точке  $\check{\Pi}_B^{BO}$  его параметры доводятся до требуемого значения по температуре за счет использования воздуха  $\Pi$  рециркуляции  $m_{R2}^{BO}$  (векторы процесса смешения  $\check{\Pi}_B^{BO}\Pi_B^{BO}$  и  $Y_B\Pi_B^{BO}$ ):

$$(\cdot)\check{\Pi}_B^{BO}(m_{R1}^{BO}) + (\cdot)Y_B(m_{R2}^{BO}) = (\cdot)\Pi_B^{BO}(m_{\Pi_B^{BO}}),$$

где  $m_{R2}^{BO} = m_{\Pi_B^{BO}} - m_{R1}^{BO}$ ;  $m_{\Pi_B^{BO}} = \frac{q_{во}^{уст}}{I_{Y_B} - I_{\Pi_B^{BO}}}$ , кг/(с·м<sup>2</sup>).

В расчетной зоне « $q_{во} = \max$ » ЦСКВ функционирует с постоянной максимальной производительностью по воздуху  $m_k^{max}$ . При этом луч процесса  $\varepsilon_{\Pi_i}^{ic}$  совпадает с  $\varepsilon_{\Pi}^{ic}$ , точки  $\check{\Pi}_i^{ic}$  и  $\bar{Y}_i$  совпадают с точками  $\check{\Pi}_B^{ic}$  и  $Y_B$ , соответственно, а ИТС<sub>i</sub><sup>ic</sup> имеет наибольший угол наклона (см. рис. 4-8).

Расчетные зоны для модели ЦСКВ определяются так, как это было показано в [12]. При этом в зависимости от положения точки  $H_i$  в зоне « $q_{во} = \max$ » могут быть следующие расчетные зоны для модели ЦСКВ: 9, 10R, 11.

Векторы режимов и процессов для модели ЦСКВ в расчетной зоне « $q_{во} = \max$ » на рис. 4-8 не показаны. Нанесена только точка приточного воздуха  $\Pi_B^{ic}$ , получаемая в результате этих процессов.

Процессы ассимиляции тепло- ( $q_{\Pi}$ ) и влагоизбытков  $W_{\Pi}$  в помещении при соответствующей организации двухпоточного воздухораспределения от ЦСКВ и от ВО записываются следующим образом (векторы процессов ассимиляции  $\Pi_B^{ic}Y_B$  и  $\Pi_B^{BO}Y_B$ ):

$$\begin{matrix} (\cdot)\Pi_B^{ic}(m_{\Pi_B^{ic}}) \\ (\cdot)\Pi_B^{BO}(m_{\Pi_B^{BO}}) \end{matrix} \rightarrow q_{\Pi}, W_{\Pi} = (\cdot)Y_B.$$

В помещении поддерживаются параметры воздуха в точке  $Y_B$ .

### Литература

1. Свод правил СП 60.13330.2012 "СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха" (утв. приказом Министерства регионального развития РФ от 30 июня 2012 г. N 279).
2. ГОСТ 12.4.021-75 Системы вентиляционные. Общие требования.
3. Стефанов Е.В. Вентиляция и кондиционирование воздуха. СПб.: НП «АВОК Северо-Запад», 2005. 402 с.
4. Ferrari L. Система с переменным расходом воздуха (VAV-система). Перевод с итальянского С. Н. Булекова // АВОК. 2002. №2. С. 52-60.
5. ГОСТ Р 54671-2011 Кондиционеры, агрегатированные охладители жидкости и тепловые насосы с компрессорами с электроприводом для охлаждения и обогрева помещений. Термины и определения.

6. Белова Е.М. Системы кондиционирования воздуха с чиллерами и фэнкойлами. Серия «Библиотека климатотехника». М.: Техносфера; Евроклимат, 2006. 408 с.
7. Брух С.В. Сравнительный анализ энергоэффективности мультизональных систем кондиционирования воздуха. URL:<http://www.general-russia.ru/plugins/content/content.php?content.32> (дата обращения 15.11.2016).
8. Брух С.В. VRF или чиллер? Сравнительный анализ на основе теории оптимизации // АВОК. 2005. № 2. С. 32–35.
9. Кернерман Э.Я., Мухин А.И. Сравнение систем кондиционирования воздуха // АВОК. 2012. № 7. С. 68–75.
10. Рымкевич А.А. Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха. СПб.: НП «АВОК Северо-Запад», 2003. 271 с.
11. Коченков Н.В. Энергосберегающие режимы систем кондиционирования воздуха: монография. Ч. 1. СКВ, обслуживающие помещения с однохарактерными нагрузками. СПб.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 2009. 399 с.
12. Коченков Н.В., Коченков В.Н. Сравнительная оценка годовых энергозатрат в центральной и децентрализованной системах кондиционирования воздуха // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование». 2014. № 3 (16). С. 37–49.
13. Рымкевич А.А. Возможности и перспективы оценки качества решения СКВ количественными показателями на основе системного подхода // Инженерные системы. 2007. №2(28). С. 16–24.
14. Коченков Н.В., Коченков В.Н. Определение установочной производительности местной рециркуляционной системы охлаждения при совместной работе с центральной системой кондиционирования воздуха // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 5 (52). С. 179–185.
15. Коченков Н.В. Энергосберегающие режимы систем кондиционирования. Ч. 1. Системы кондиционирования с адиабатным увлажнением воздуха: учеб.-метод. пособие. – СПб.: Университет ИТМО; ИХиБТ, 2015. 75 с.

#### References

1. Set of rules of the joint venture 60.13330.2012 "Construction Norms and Regulations 41-01-2003 Heating, ventilation and air conditioning" (утв. the order of the Ministry of Regional Development of the Russian Federation of June 30, 2012 N 279).
2. GOST 12.4.021-75 Systems ventilating. General requirements.
3. Stefanov E. V. Ventilation and air conditioning. SPb.: NP AVOK Severo-Zapad, 2005. 402 p.
4. Ferrari L. System with a variable consumption of air (VAV system). The translation from the Italian S. N. Bulekov//AVOK. 2002. No. 2. P. 52–60.
5. GOST P 54671-2011 Conditioners, the aggregated coolers of liquid and thermal pumps with compressors with the electric drive for cooling and heating of rooms. Terms and definitions.
6. Belovo E.M. Air conditioning systems with chillers and fenkoyla. Library of a Klimatechnik series. M.: Technosphere; Euroclimate, 2006. 408 p.
7. Bruch S. W. Comparative analysis of energy efficiency of multizone air conditioning systems. URL:<http://www.general-russia.ru/plugins/content/content.php?content.32> (date of the address 11/15/2016).
8. Bruch S. W. VRF or chiller? The comparative analysis on the basis of the theory of optimization // AVOK. 2005. No. 2. P. 32-35.
9. Kernerman E. Ya., Mukhin A. I. Comparison of air conditioning systems//AVOK. 2012. No. 7. P. 68–75.
10. Rymkevich A. A. System analysis of optimization of all-exchange ventilation and air conditioning. SPb.: NP AVOK Severo-Zapad, 2003. 271 p.
11. Kochenkov N. V. Energy saving modes of air conditioning systems: monograph. Ch. 1. SKV, the serving rooms with one-characteristic loadings. SPb.: VKA of A.F.Mozhaysky, 2009. 399 p.
12. Kochenkov N. V., Kochenkov V. N. Comparative assessment of annual energy consumption in the central and decentralized air conditioning systems//the NIU ITMO Scientific magazine. "Refrigerating Equipment and Conditioning" series. 2014. No. 3 (16). P. 37–49.
13. Rymkevich A. A. Opportunities and prospects of assessment of quality of the solution of hard currency quantitative indices on the basis of system approach // Engineering systems. 2007. No. 2(28). P. 16–24.
14. Kochenkov N.V., Kochenkov V.N. Determination of adjusting productivity of the local recirculation cooling system at collaboration with the central air conditioning system//the Messenger of civil engineers. 2015. No. 5 (52). P. 179–185.
15. Kochenkov N. V. Energy saving modes of air conditioning systems. P.1. Air conditioning systems with adiabatic moistening of air: studies. - a method. grant. – СПб.: ИТМО university;, 2015. 75 p.