

УДК 628.8+697.9

## Децентрализованные системы кондиционирования воздуха

Канд. техн. наук Н. В. КОЧЕНКОВ<sup>1</sup>, А. С. С. САЛМАН<sup>2</sup><sup>1</sup>kochenkov63@mail.ru, <sup>2</sup>ahsalman1976@gmail.com

Университет ИТМО

Материал статьи основывается на теоретических положениях, разработанных проф. А. А. Рымкевичем, для реализации которых в соответствующих инженерных методиках требуется дальнейшее их развитие. Рассматривается децентрализованная система кондиционирования воздуха (СКВ) для объекта, включающего в себя два помещения или две рабочие зоны в пределах одного помещения с разнохарактерными нагрузками. Для формализации этих нагрузок применяются исходные термодинамические схемы (ИТС), описываемые аналитически (уравнения здесь не приводятся), а для наглядного представления ИТС используется I-d-диаграмма влажного воздуха. Раскрыты достоинства и недостатки однозональных СКВ, которые приняты за базовой вариант. Это означает, что расходы энергоресурсов, потребляемых на тепловлажностную обработку воздуха в этих СКВ, являются эталонными значениями, к которым надо стремиться при сравнении их с аналогичными значениями расходов для других конкурирующих вариантов СКВ. В качестве конкурирующих вариантов СКВ рассматриваются децентрализованные, многозональные и комбинированные СКВ. Показано принципиальное различие между этими вариантами. В статье рассматриваются только децентрализованные СКВ, включающие в свой состав центральную систему, где обрабатывается наружный воздух, и местную систему, обрабатывающую рециркуляционный воздух в помещении. Раскрыты задачи, решаемые местными системами СКВ, в зависимости от которых эти системы разделены по функциональному признаку (т. е. по той задаче или функции, которую они выполняют) на две группы: смежные системы и (зональные) доводчики, принципиальное отличие между которыми заключается в их влиянии на изменение нагрузок в помещениях, а, следовательно, и на изменение положений ИТС на I-d-диаграмме. Показано, какие рециркуляционные системы могут выполнять функции смежных систем и как они должны выбираться для децентрализованных СКВ. Раскрыты механизмы совмещения ИТС помещений за счет смежных систем в общую для них ИТС на примере одной из совмещенных расчетных зон. Раскрыто содержание понятия «помещение ориентировано на центральный кондиционер». Стиль изложения материала и используемая терминология соответствуют работам проф. А. А. Рымкевича.

**Ключевые слова:** однозональные и децентрализованные системы кондиционирования воздуха (СКВ), местные и смежные системы, доводчики, конкурирующие варианты СКВ, однохарактерные и разнохарактерные нагрузки, центральный кондиционер, исходная термодинамическая схема.

### Информация о статье:

Поступила в редакцию 06.10.2020, принята к печати 20.11.2020

DOI: 10.17586/1606-4313-2020-19-4-37-44

Язык статьи — русский

### Для цитирования:

Коченков Н. В., Салман А. С. С. Децентрализованные системы кондиционирования воздуха // Вестник Международной академии холода. 2020. № 4. С. 37–44. DOI: 10.17586/1606-4313-2020-19-4-37-44

## Decentralized air conditioning systems

Ph. D. N. V. KOCHENKOV<sup>1</sup>, A. S. S. SALMAN<sup>2</sup><sup>1</sup>kochenkov63@mail.ru, <sup>2</sup>ahsalman1976@gmail.com

ITMO University

The material of the article is based on the theoretical provisions developed by Prof. A. A. Rymkevich for the implementation of which in the corresponding engineering techniques their further development is required. A decentralized air conditioning system (ACS) is considered for an object that includes two rooms or two working zones within one room with different types of loads. To formalize these loads, initial thermodynamic schemes (ITS) are used, which are described analytically (equations are not given here), and for a visual representation of ITS, an I-d diagram of the moist air is used. The pros and cons of single-zone ACS are disclosed, which are taken as the basic version. This means the energy costs consumed for heat and humidity treatment of air in these ACS are the reference values to which one should strive when comparing them with similar values of costs for other competing ACS options. Decentralized, multi-zonal and combined ACS are considered as competing options for ACS. The fundamental difference between these options is shown. The article deals only with decentralized ACS, which include a central system where the outside air is processed, and a local system that processes the recirculated air in the room. The tasks solved by local ACS are disclosed, depending on which these systems are

*divided according to their functional characteristics (i. e., according to the task or function they perform) into two groups: adjacent systems and (zonal) closers, the fundamental difference between which is in their influence on the change in loads in the premises, and consequently, on the ITS position change on the I-d diagram. It is shown which recirculation systems can perform the functions of adjacent systems and how they should be selected for decentralized ACS. The mechanisms of combining ITS of premises by means of adjacent systems into a common ITS are disclosed on the example of one of the combined computational zones. The content of the concept «the room is oriented towards central air conditioning» is revealed. The style of presentation of the material and the terminology used correspond to the works of prof. A. A. Rymkevich.*

**Keywords:** single-zone and decentralized air conditioning systems (ACS), local and adjacent systems, closers, competing ACS options, single and different loads, central air conditioning, initial thermodynamic scheme.

#### Article info:

Received 06/10/2020, accepted 20/11/2020

DOI: 10.17586/1606-4313-2020-19-4-37-44

Article in Russian

#### For citation:

Kochenkova N. V., Salman A. S. S. Decentralized air conditioning systems. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2020. No 4. p. 37–44. DOI: 10.17586/1606-4313-2020-19-4-37-44

### Введение

Традиционное понимание кондиционирования воздуха дается как автоматическое поддержание требуемых параметров воздушной среды в помещении, независимо от внешних погодных условий и переменных тепловыделений в самом помещении. Комплекс технических средств вместе со всеми дополнительными внешними подсистемами, которые используются для кондиционирования воздуха, называются системой кондиционирования (СКВ) [1].

О термине «кондиционирование воздуха» очень обстоятельно, по мнению А. И. Липа [2], высказался один из ведущих специалистов — профессор В. Д. Коркин [3]. В работе рассмотрены определения, данные в разные годы основоположниками отечественной науки, и дана формулировка, что кондиционирование воздуха — комплекс способов, средств и устройств, обеспечивающих в помещении с заданной точностью требуемые условия воздушной среды (температуру, относительную влажность, подвижность, газовый состав, чистоту и пр.) вне зависимости от воздействия на нее внешних и внутренних нарушающих факторов [3].

Для СКВ, решения которых базируются на учете большого числа данных, разработать классификацию этих систем всегда сложно. Не случайно, в литературе нет единого мнения по данному вопросу, и поэтому многие известные авторы, в том числе О. Я. Кокорин [4], А. Г. Сотников [5], М. Г. Тарабанов [6] и другие [7, 8] предложили различные методы классификации. Однако до настоящего времени этот вопрос остается в поле зрения ученых. Как отмечает профессор А. Г. Сотников [5], отдать предпочтение какой-либо из существующих классификаций затруднительно, так как каждая из них по-своему отражает многообразие решений, опыт проектирования и исследований, а подчас и интуитивное ожидание результатов от использования излагаемого принципа поддержания заданных параметров воздушной среды. Принципы классификации систем очевидно в значительной степени зависят от тех целей, которые преследуются в процессе исследований.

Так в классификации СКВ, предложенной профессором А. А. Рымкевичем [9], во главу угла ставятся ре-

жимы функционирования СКВ, определяющие технологическую схему тепловлажностной обработки воздуха за расчетный период времени. Последняя в свою очередь позволяет обосновать требования к алгоритму адаптивного управления СКВ [10, 11]. В этой классификации конкурирующими<sup>1</sup> для однозональных СКВ приняты децентрализованные, многозональные и комбинированные системы. Именно эта классификация будет использоваться авторами статьи в дальнейшем.

Излагаемый материал основывается на теоретических положениях, изложенных в [9, гл. 6]. Следовательно, стиль его изложения, используемая терминология и обозначения соответствуют этим положениям.

### Постановка задачи исследования

Рассматривается объект, включающий в себя два помещения или две рабочих зоны в пределах одного помещения (далее два помещения), обозначенные цифрами 1 и 2, с разнохарактерными тепловлажностными и газовыми нагрузками в них. Эти нагрузки формализуются через исходные термодинамические схемы<sup>2</sup> (ИТС), обозначенные для помещений как ИТС<sup>1</sup> и ИТС<sup>2</sup>. ИТС строятся на *I-d*-диаграмме влажного воздуха по точкам, названным опорными. Эти точки обозначены как ИТС<sup>1</sup>, ИТС<sup>2</sup> и их координаты рассчитываются аналитически. Разнохарактерность или однохарактерность нагрузок в помещениях в формализованном виде графически на *I-d*-диаграмме влажного воздуха определяется взаимным расположением ИТС<sup>1</sup> и ИТС<sup>2</sup> относительно друг друга. Если эти ИТС<sup>1</sup> и ИТС<sup>2</sup> совпадают (т. е. совпадают их опорные точки), то нагрузки в помещениях считаются однохарактерными, в противном случае — разнохарактерными.

За базовый вариант СКВ приняты однозональные системы, в которых каждое из помещений с разнохарактерными нагрузками в них (так называемый объект II типа [9]) обслуживается своей самостоятельно функционирующей СКВ. При однохарактерных же нагрузках в помещениях (так называемый объект I типа [9]) поддержание нормируемых параметров воздушной среды в них способна обеспечить одна общая СКВ (далее этот случай рассматриваться не будет, поскольку он детально

проработан в работе [13] и реализован в прикладной компьютерной программе [14], требующей использования информации о климате в том виде, как это сделано для г. Багдада [15].

Достоинство однозональных СКВ заключается в возможности организовать в них процессы тепловлажностной обработки воздуха таким образом, чтобы можно было регулировать режимы функционирования каждой из СКВ в соответствии с изменением тепловлажностных и газовых нагрузок в помещениях, обслуживаемых ими. Поэтому расходы энергоресурсов, потребляемых на тепловлажностную обработку воздуха в этих СКВ, являются минимальными и должны рассматриваться как эталонные или ориентированные значения [9], к которым надо стремиться при выборе режимов функционирования и алгоритма управления децентрализованными СКВ. В этом случае однозональные и децентрализованные СКВ будут равноценны по энергопотреблению.

Существенный недостаток однозональных СКВ заключается в том, что наружный воздух обрабатывается в них не централизованно, а отдельно для каждого помещения.

Но как можно организовать централизованную обработку наружного воздуха, если нагрузки в помещениях являются разнохарактерными?

Задача может быть сформулирована следующим образом: найти такое решение СКВ, обслуживающей помещения 1 и 2 с разнохарактерными нагрузками в них, чтобы наружный воздух обрабатывался централизованно (в центральном кондиционере ЦК<sup>03</sup>), а значения расходов энергоресурсов, потребляемых в СКВ на тепловлажностную обработку воздуха, остались такими же, как при однозональных СКВ. Подход к решению этой задачи рассматривался в работах [9, 16].

### Децентрализованные СКВ

Децентрализованными называются такие сочетания центральных и местных систем [9, с. 165], далее называемых смежными системами (См. С), в которых предусматривается разделение остаточных тепло- и влаговыделений в помещении: часть приходится на центральную систему, остальное на смежную [13, с. 155].

У См. С в первую очередь принимается во внимание их функциональный признак, т. е. та задача (функция), которую они должны выполнять, а именно регулировать тепловую, влажностную и (или) газовую нагрузку в помещениях с целью их выравнивания. Графически на  $I-d$ -диаграмме это выглядит как изменение положений ИТС.

Децентрализованные СКВ могут быть характерны не только для объектов II типа, но и для объектов I типа.

Рассмотрим для примера следующие два случая, где для этих объектов может оказаться целесообразным использование децентрализованных СКВ.

**Пример 1.** Чтобы учесть требования по ограничению температуры по мокрому термометру  $t_M$  адиабатно увлажняемого воздуха и, в то же время, сохранить прямоточную схему в ЦК (т. е. без первой рециркуляции), требуется изменить положение ИТС так, чтобы опорная точка  $\tilde{H}_a$  переместилась в точку  $\tilde{H}_a^*$  и ИТС заняла бы положение ИТС\*, показанное пунктирной линией. Тогда процесс адиабатного увлажнения в ЦК исключается, а, следовательно, снимается ограничение по  $t_M$ . В первом случае (рис. 1, а) для этого должна быть увеличена влажностная нагрузка в помещении. Этого можно добиться за счет смежной системы, реализующей процесс адиабатного увлажнения рециркуляционного воздуха в помещении. Во втором случае (рис. 1, б) при постоянном влагосодержании необходимо увеличить энтальпию опорной точки  $\tilde{H}_a$  до значения энтальпии  $I_M$ , соответствующей температуре по мокрому термометру  $t_M$ , для чего требуется уменьшить теплоизбытки в помещении, приходящиеся на ЦК. Этого можно добиться за счет использования См. С, частично охлаждающей рециркуляционный воздух в помещении.

**Пример 2.** (рис. 1, в). Для исключения потребления теплоты в подсистеме второго подогрева в ЦК в расчетной зоне климата 12<sup>4</sup>, требуется изменить положение ИТС таким образом, чтобы опорная точка  $\tilde{H}_b$  оказалась на линии  $\phi = 1$ . Здесь показано два способа перемещения точки  $\tilde{H}_b$  в точку  $\tilde{H}_b^*$ : один (способ 1) — по линии постоянного влагосодержания за счет увеличения теплоизбытков в помещении (для этого может использоваться См. С, нагревающая рециркуляционный воздух); второй (спо-

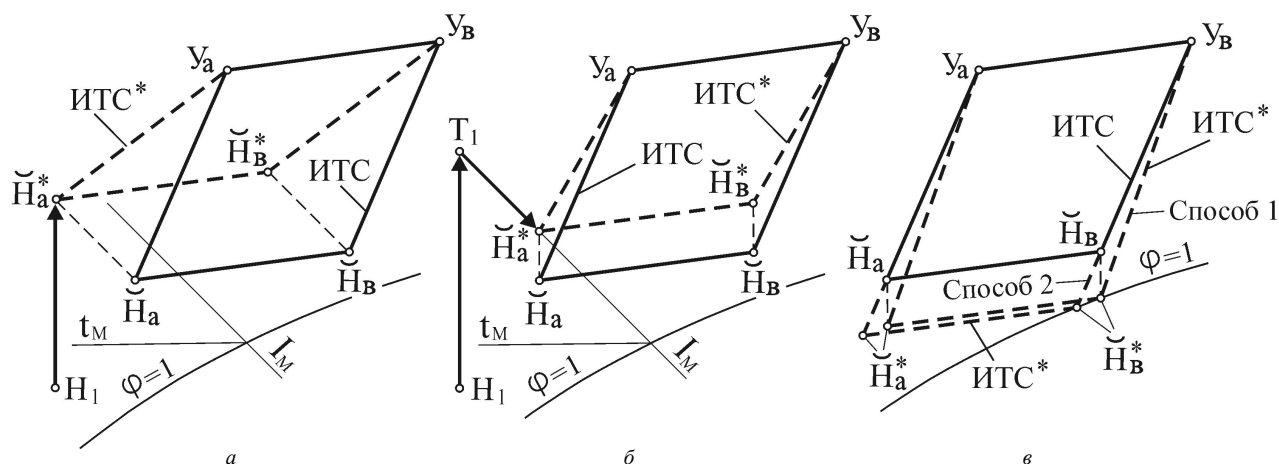


Рис. 1. Требования к положению ИТС для объекта I типа

Fig. 1. Requirements for the position of initial thermodynamic scheme (ITS) for the objects of the type

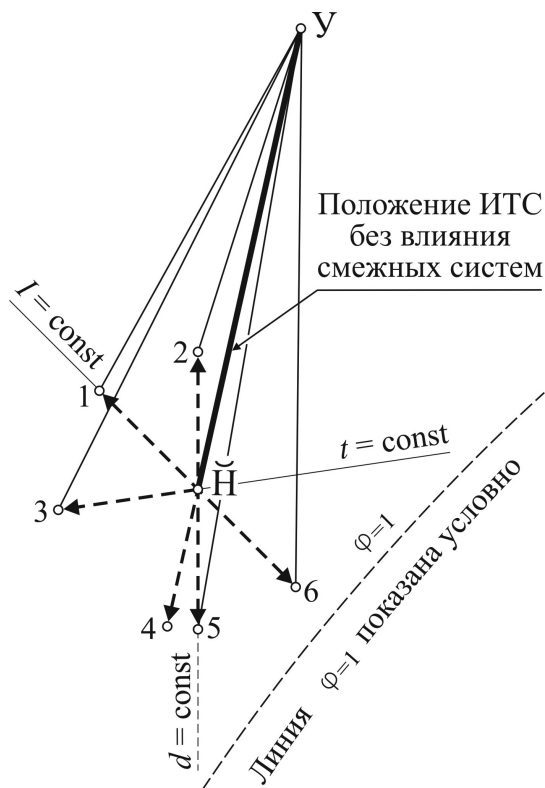


Рис. 2. Способы изменения положения ИТС за счет следующих смежных систем:

1 — адиабатного увлажнителя (АУ) (процесс  $\ddot{H}-1$ ); 2 — воздухоохладителя (ВО) (процесс  $\ddot{H}-2$ ); 3 — пароувлажнителя (ПУ) (процесс  $\ddot{H}-3$ ); 4 — подсистемы очистки рециркуляционного воздуха, позволяющей уменьшить расход наружного воздуха (процесс  $\ddot{H}-4$ ); 5 — системы отопления (СО) (процесс  $\ddot{H}-5$ ); 6 — воздухоосушителя (процесс  $\ddot{H}-6$ )

Fig. 3. The ways of changing ITS position due to the following adjacent systems:

1 — adiabatic humidifier ( $\ddot{H}-1$ ); 2 — air cooler ( $\ddot{H}-2$ ); 3 — steam humidifier ( $\ddot{H}-3$ ); 4 — subsystem of recirculating air cleaning allowing decreasing outdoor air consumption ( $\ddot{H}-4$ ); 5 — heating system ( $\ddot{H}-5$ ); 6 — air dehumidifier ( $\ddot{H}-6$ )

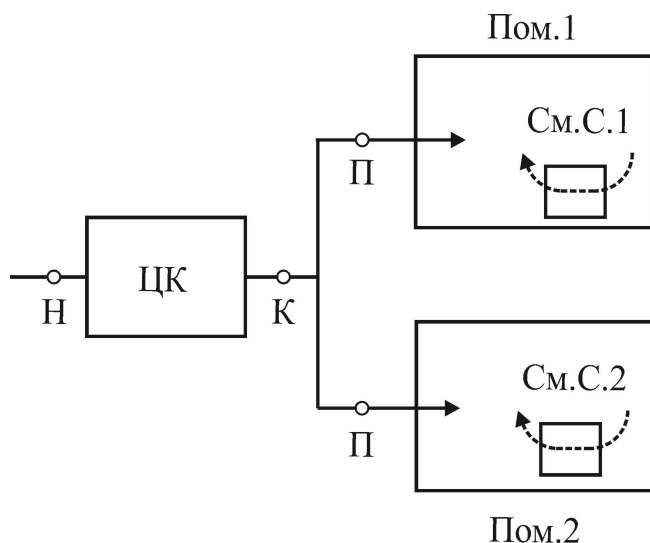


Рис. 3. Схематическое изображение децентрализованной СКВ для объекта II типа

Fig. 3. Schematic representation of a decentralized ACS for a type II object

соб 2) — за счет уменьшения минимально-неизбежного расхода наружного воздуха (для этого может использоваться См. С, очищающая рециркуляционный воздух в помещении).

В качестве См. С могут выступать рециркуляционные системы: охлаждения в виде воздухоохладителя (ВО), увлажнения в виде адиабатного увлажнителя (АУ) или пароувлажнителя (ПУ), осушки в виде воздухоосушителя (ОС), отопления в виде системы отопления (СО), очистки рециркуляционного воздуха (рис. 2). Режимы функционирования этой группы местных систем могут корректироваться в интересах ЦК<sup>0</sup> [13, с. 155].

Для того чтобы определить, какие же именно системы следует рассматривать в качестве смежных, сначала требуется выбрать направление, в котором должны быть изменены нагрузки в помещениях, чтобы достичь желаемого положения ИТС, а затем определить способ, за счет которого это можно реализовать. Возможные изменения положения ИТС и за счет каких смежных систем они могут быть достигнуты показано на рис. 2. Здесь исходная ИТС представлена только в виде утолщенного отрезка  $\ddot{H}$ , что соответствует случаю, когда нормируемые параметры воздуха в помещении заданы в виде точки У. Отрезки, показанные тонкой сплошной линией, например, У-3, У-6 и др., показывают положения, в которые переходит исходная ИТС под влиянием смежных систем. Пунктирными стрелками показаны процессы в смежных системах.

### Выравнивание нагрузок по помещениям, за счет смежных систем

При разнохарактерных нагрузках в помещениях наличие требований к положению ИТС<sup>1</sup> и ИТС<sup>2</sup> с последующей их корректировкой при изменении параметров наружного воздуха в течение года обусловлено необходимостью выравнивания разнохарактерных нагрузок в помещениях. Графически на  $I-d$ -диаграмме это выглядит как изменение положения ИТС<sup>1</sup> и (или) ИТС<sup>2</sup>, таким образом, чтобы они совместились в общую для них ИТС<sup>0</sup>.

Для обеспечения нормируемых параметров воздушной среды в помещениях с разнохарактерными нагрузками в состав децентрализованной СКВ также должна входить централизованная система, где обрабатывается только наружный воздух, и См. С, устанавливаемые в помещениях и обрабатывающие рециркуляционный воздух (рис. 3). Обозначения, принятые на схеме: ЦК — центральный кондиционер; Н — параметры наружного воздуха на входе в ЦК; К — параметры воздуха на выходе из ЦК; П — параметры приточного воздуха; См. С — смежная система.

В зависимости от взаимного расположения ИТС<sup>1</sup> и ИТС<sup>2</sup> выделяются три сектора нагрузок, обозначенные буквами  $a$ ,  $b$ ,  $v$  (рис. 4). Границами этих секторов являются изолинии  $t = \text{const}$ ,  $d = \text{const}$ ,  $I = \text{const}$  (подробнее материал о секторах нагрузок будет рассмотрен в отдельной статье). У каждого сектора механизмы совмещения опорных точек ИТС<sup>1</sup> и ИТС<sup>2</sup> за счет смежных систем различаются.

На примере, когда точка наружного климата Н, находится в совмещенной расчетной зоне<sup>5</sup> (СРЗ) «1, 1» рассмотрим случай когда положения точек У, характеризующих параметры воздуха в помещениях 1 и 2, совпадают. При этом отметим, что в децентрализованных СКВ точ-

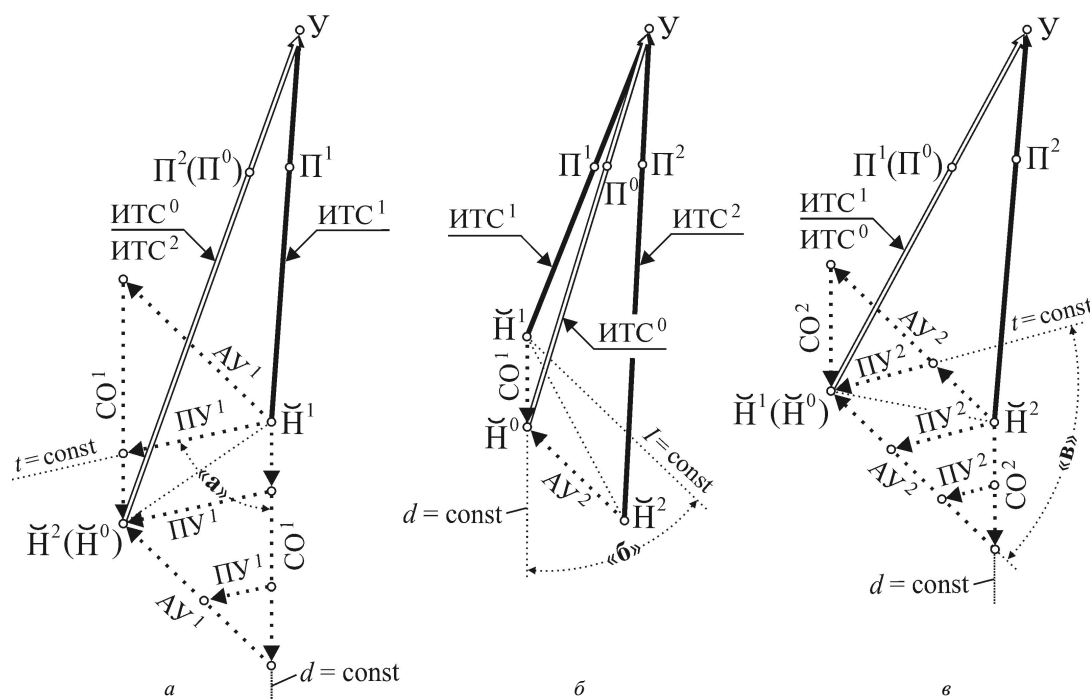


Рис. 4. Механизм совмещения ИТС<sup>1</sup> и ИТС<sup>2</sup> для секторов нагрузок «а», «б», «в»  
Fig. 4. Combination of ITS<sup>1</sup> and ITS<sup>2</sup> for the load sectors «а», «б», and «в»

ка  $Y$  сохраняет такое же положение, как и в однозональных СКВ.

Отметим, что в некоторых СРЗ параметры точек У могут различаться. Принципиально это ничего не меняет. В этом случае точки приточного воздуха  $\Pi^1$  и  $\Pi^2$  не совпадают и использование общей второй рециркуляции исключается.

Нижние опорные точки  $\hat{H}^1$  и  $\hat{H}^2$  совмещаются в одну общую для них точку, обозначаемую как  $\hat{H}^0$ . ИТС<sup>1</sup> и ИТС<sup>2</sup> совмещаются в одну, обозначаемую как ИТС<sup>0</sup>. Также совмещаются и опорные точки  $\hat{H}^1$  и  $\hat{H}^2$  в точку  $\hat{H}^0$  и возможно использование центральной первой рециркуляции. При соблюдении условия  $\Delta t_{\Pi}^1 = \Delta t_{\Pi}^2$ , где  $\Delta t_{\Pi}$  — отклонение температуры  $t_{\Pi}$  в приточной струе от нормируемой температуры  $t_y$  в рабочей зоне при ассимиляции избытков теплоты в помещении, параметры приточного воздуха в децентрализованной СКВ для помещений 1 и 2 является одинаковыми и точка приточного воздуха на ИТС<sup>0</sup> с обозначением  $\Pi^0$  является общей для помещений 1 и 2. При этом возможно использование центральной второй рециркуляции.

Точка  $N^0$ , характеризующая параметры воздуха после его тепловлажностной обработки в ЦК<sup>0</sup>, одновременно принадлежит обоим ИТС. При этом роль точки  $N^0$  может выполнять не обязательно нижняя точка ИТС  $\tilde{N}^0$ . В зависимости от расчетной зоны это могут быть также точки с переменным расходом наружного воздуха  $\tilde{N}^0$  или с максимально-целесообразным  $\hat{N}^0$ . Поэтому обозначение  $N^0$  является общим для точек  $\tilde{N}^0$ ,  $\tilde{N}^0$ ,  $\hat{N}^0$ .

Воздух с параметрами в точке  $N^0$  подается в помещения 1 и 2 без какой-либо дополнительной тепловлажностной обработки, за исключением его смешения при необходимости с воздухом второй рециркуляции.

Рециркуляционный воздух, после его соответствующей тепловлажностной обработки в смежных системах,

подается обратно в то помещение, из которого он забирался. В результате изменяются значения тепло и (или) влаговыделений в этом помещении. Значение требуемого расхода минимально-неизбежного расхода наружного воздуха  $m_{\text{н}}$  можно также изменять в сторону уменьшения, но только при наличии смежной системы очистки рециркуляционного воздуха.

В случае, когда для одного из помещений не требуется первая рециркуляция, а для другого помещения — ее использование в определенные моменты (периоды времени) становится обязательным, то для организации централизованной обработки наружного воздуха в ЦК<sup>0</sup> требуется найти способ исключения первой рециркуляции. Просто взять и отказаться от нее нельзя, поскольку останутся нерешенными те задачи, которые возлагаются на первую рециркуляцию. Какие именно это задачи и способы исключения этой рециркуляции были рассмотрены в [17] применительно к объекту I типа.

Положение опорной точки ИТС  $\hat{N}^0$  в течение года будет изменяться от точки  $\check{N}^0$ , связанной с минимально-неизбежным расходом наружного воздуха, до точки  $\hat{N}^0$ , связанной с его максимально-целесообразным расходом, даже в том случае, если тепловлажностные и газовые нагрузки в помещениях останутся постоянными. Это связано с тем, что изменяются параметры наружного климата в течение года.

Механизм совмещения опорных точек ИТС<sup>1</sup> и ИТС<sup>2</sup> для каждого из секторов нагрузок различается и сводится он к следующему.

В секторе «а» (рис. 4, а) требуется переместить опорную точку  $\check{H}^1$ , относящуюся к ИТС<sup>1</sup>, в точку  $\check{H}^0$ , совпадающую с опорной точкой  $\check{H}^2$ , т. е. реализовать вектор режима  $\check{H}^1\check{H}^0$ . Это можно сделать за счет совместного функционирования в помещении 1 следующих комбинаций смежных систем:

$CO^1 + AU^1$  или  $CO^1 + ПУ^1$  или  $CO^1 + ПУ^1 + AU^1$ .

Поскольку процессы в смежных системах происходят одновременно, то последовательность их изображения на  $I-d$ -диаграмме не имеет значения, т. к. на рис. 4 они показаны все.

Положение ИТС<sup>0</sup> совпадает с положением ИТС<sup>2</sup>, которое не изменяется, а помещение 2 является ориентируемым на ЦК<sup>0</sup>.

Термин «помещение ориентировано на ЦК<sup>0</sup>» введен профессором А. А. Рымкевичем [9]. Это означает, что смежные системы для этого помещения не требуются, а все процессы обработки воздуха могут быть реализованы в ЦК<sup>0</sup>. Такое помещение называется ориентируемым на ЦК<sup>0</sup>. При каких-то параметрах наружного воздуха в качестве такого помещения может быть помещение 1, а при каких-то параметрах — помещение 2.

Таким образом, за годовой цикл эксплуатации функция помещения, ориентируемого на ЦК<sup>0</sup>, может переходить от одного помещения к другому, ибо при разнохарактерных нагрузках в помещениях 1 и 2 оба вектора режимов функционирования для них не могут быть одновременно реализованы централизованно.

В секторе «б» (рис. 4, б) требуется переместить опорные точки  $\dot{N}^1$  и  $\dot{N}^2$  в точку  $\dot{N}^0$ . Для этого одновременно должны быть реализованы два вектора режима:  $\dot{N}^1\dot{N}^0$  и  $\dot{N}^2\dot{N}^0$ . Вектор  $\dot{N}^1\dot{N}^0$  реализуется за счет функционирования в помещении 1 смежной системы в виде  $CO^1$ ; вектор  $\dot{N}^2\dot{N}^0$  реализуется за счет функционирования в помещении 2 смежной системы в виде  $AU^2$ . При этом ИТС<sup>1</sup> и ИТС<sup>2</sup> изменяют свои положения на ИТС<sup>0</sup>. Для сектора «б» характерна лишь одна комбинация смежных систем:  $CO^1 + AU^2$ . Точки приточного воздуха  $P^1$  и  $P^2$  также изменяют свои положения на  $P^0$ . Задействование смежных систем  $CO^1$  для помещения 1 и  $AU^2$  для помещения 2 является признаком сектора «б».

В секторе «в» (рис. 4, в) требуется переместить опорную точку  $\dot{N}^2$ , относящуюся к ИТС<sup>2</sup>, в точку  $\dot{N}^0$ , совпадающую с опорной точкой  $\dot{N}^1$ , т. е. реализовать вектор режима  $\dot{N}^2\dot{N}^0$ . Это можно сделать за счет функционирования в помещении 2 смежных систем  $CO^2$ ,  $AU^2$  и  $ПУ^2$ . Изменяется положение только ИТС<sup>2</sup>. Положение ИТС<sup>0</sup> будет совпадать с положением ИТС<sup>1</sup>, а помещение 1 — являться ориентируемым на ЦК<sup>0</sup>. Вектор режима  $\dot{N}^2\dot{N}^0$  может быть реализован при различных комбинациях смежных систем:

$CO^2 + AU^2$  или  $ПУ^2 + AU^2$  или  $CO^2 + ПУ^2 + AU^2$ .

## Литература

1. Апошанский С. А., Попов Г. А., Романенко Н. Г. Автоматизированное управление процессом кондиционирования воздуха с учетом требований по безопасности // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2014. № 3. 20 с.
2. Липа А. И. О кондиционировании воздуха и других терминах // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика (АВОК). 2004. № 4. С. 40–47.
3. Коркин В. Д. Кондиционирование воздуха — что это такое? // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, те-

Положение линии  $\phi = 1$  на рис. 4 не показано, чтобы не акцентировать внимание на каком-то одном классе нагрузок<sup>6</sup>, а обобщить это на все классы.

В ЦК<sup>0</sup> централизованно обрабатывается наружный воздух от параметров наружного климата в точке  $N_i$  до параметров в точке  $N^0$ , характеризующей термодинамическое состояние воздуха на выходе из ЦК<sup>0</sup> (реализуется вектор режима  $N_iN^0$ , на рис. 4 он не показан).

Для децентрализованных СКВ деление области климата на СРЗ осуществляется относительно ИТС<sup>0</sup> и ее опорных точек.

## Заключение

Рассмотренный принцип формирования децентрализованной СКВ, являющейся одним из вариантов систем, конкурирующих с однозональными СКВ, позволяет решить задачу, сформулированную выше. Существенная роль в этом варианте СКВ отводится смежным системам. Показан механизм их влияния на тепловлажностные и газовые нагрузки в помещении. Аналитические зависимости, которые используются при компьютерном моделировании режимов функционирования децентрализованных СКВ, в статье не приводятся в виду ее ограниченного объема. На примере одной из СРЗ расчетных зон показан механизм формирования комбинаций смежных систем, функционирующих совместно с общей центральной системой, обрабатывающей только наружный воздух. В процессе исследований аналогичная работа по выбору комбинаций смежных систем применительно к объекту с двумя помещениями проделана для всех СРЗ, которые могут иметь место при различных сочетаниях классов нагрузок.

## Примечания

- 1 Термин «конкурирующие» варианты СКВ заимствован из [9, п. 6.1]. (см. стр. 38)
- 2 Термин «исходная термодинамическая схема (ИТС)» введен проф. А. А. Рымкевичем [12]. (см. стр. 38)
- 3 Символ «0» в обозначении ЦК<sup>0</sup> и далее в других обозначениях, где он будет использоваться, означает принадлежность к общей центральной системе. (см. стр. 39)
- 4 Границы расчетной зоны климата 12 и условия, при которых эта зона климата имеет место быть, детально рассмотрены в [9, 13]. (см. стр. 39)
- 5 Понятие «совмещенная расчетная зона» подробно рассмотрено в [13, с. 217] и заимствовано из [9, с. 196]. (см. стр. 40)
- 6 Понятие «класс нагрузок» в СКВ введено проф. Рымкевичем [9]. (см. стр. 42)

## References

1. Aposhansky S. A., Popov G. A., Romanenko N. G. Automated control of the air conditioning process with considering safety requirements. *AGTU Bulletin. Series: Management, computer technology and informatics*. 2014. No 3. 20 p. (in Russian)
2. Lipa A. I. About air conditioning and other terms. *Ventilation, heating, air conditioning, heat supply and construction thermal physics*. 2004. No. 4. P. 40–47. (in Russian)
3. Korkin V. D. Air conditioning — what is it? *Ventilation, heating, air conditioning, heat supply and building thermal physics*. 2004. No 1. P. 58–60. (in Russian)

- плоснабжение и строительная теплофизика (АВОК). 2004. № 1. С. 58–60.
4. Кокорин О. Я. Современные системы кондиционирования воздуха. М.: Издательство физико-математической литературы, 2003. 272 с.
  5. Сотников А. Г. Процессы, аппараты и системы кондиционирования воздуха и вентиляции. В кн: Теория, техника и проектирование на рубеже столетий. В двух томах. Т. 1. СПб.: ООО «АТ», 2005. 504 с.
  6. Тарабанов М. Г. Классификация систем кондиционирования воздуха // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика (АВОК). 2011. № 6. С. 20–37.
  7. Ананьев В. А., Балуева Л. Н., Гальперин А. Д. и др. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика. Третье издание. М.: Диксис Трейдинг. 2001. 416 с.
  8. Zhang W. J., Huai L. L., Liu J. L. Сравнительный анализ характеристик потребления энергии между децентрализованной и централизованными системами кондиционирования в жилых зданиях по вводу в эксплуатацию. Материалы пятого международного семинара по энергетике и окружающей среде жилых зданий и третьей международной конференции по антропогенной среде и здоровью населения, Том I и II, 2009. С. 1768–1775.
  9. Рымкевич А. А. Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха. СПб: АВОК С-3, 2003. 272 с.
  10. Коченков Н. В. Адаптивное управление процессом тепловлажной обработки воздуха в системах кондиционирования // Известия РАН. Теория и системы управления. 2016. № 5. С. 90–99.
  11. Коченков Н. В., Коченков В. Н. Адаптация принципа управления «по отклонению и возмущению» для систем кондиционирования воздуха // Вестник Международной академии холода. 2015. № 4. С. 61–65.
  12. Рымкевич А. А. Возможности и перспективы оценки качества решения СКВ количественными показателями на основе системного подхода // Инженерные системы. АВОК Северо-Запад. 2007. № 2 (28). С. 16–24.
  13. 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.
  14. Мещанинов А. В. Разработка методики использования прикладной компьютерной программы для моделирования процессов функционирования систем термостатирования. СПб.: ИТМО, 2016. 76 с.
  15. Салман А. С. С. Формализация информации о климате для г. Багдада // Альманах научных работ молодых ученых XLII научной и учебно-методической конференции Университета ИТМО. 2018. Том 4. С. 98–100.
  16. Коченков Н. В. Проблема разработки научно-методических основ создания систем кондиционирования воздуха для помещений с разнохарактерными нагрузками // Вестник Международной академии холода. 2014. № 3. С. 48–52.
  17. Коченков Н. В. Первая и вторая рециркуляции в центральной системе кондиционирования воздуха // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 1 (48). С. 172–181.
  4. Kokorin O. Ya. Modern air conditioning systems. Moscow, Publishing house of physical and mathematical literature, 2003. 272 p. (in Russian)
  5. Sotnikov A. G. Processes, apparatus and air conditioning systems and ventilation / Theory, technology and design at the turn of the century. In two volumes. Vol. 1. SPb: ООО «АТ», 2005. 504 p. (in Russian)
  6. Tarabanov M. G. Classification of air conditioning systems. *Ventilation, heating, air conditioning, heat supply and building thermal physics*. 2011. No 6. p. 20–37. (in Russian)
  7. Ananiev V. A., Balueva L. N., Galperin A. D. et al. Ventilation and air conditioning systems. Theory and practice. Third edition. Moscow, Diksis Trading, 2001. 416 p. (in Russian)
  8. Zhang W. J., Huai L. L., Liu J. L. Comparison analysis of energy consumption characteristics between decentralized and centralized AC systems in residential buildings by commissioning. Proceedings of the fifth international workshop on energy and environment of residential buildings and third international conference on built environment and public health, Vol I and II, 2009. p. 1768–1775.
  9. Rymkevich A. A. System analysis optimization of general ventilation and air conditioning. St. Petersburg: AVOK, 2003. 272 p. (in Russian)
  10. Kochenkov N. V. Adaptive management of process of heat moist processing of air in air conditioning systems. *News of RAS. Theory and control systems*. 2016. No 5. p. 90–99. (in Russian)
  11. Kochenkov N. V., Kochenkov V. N. Adaptation of the control principle «deflection and disturbance» for air conditioning systems. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2015. No 4. p. 61–65. (in Russian)
  12. Rymkevich A. A. Opportunities and prospects for assessing the quality of solutions of ACS by quantitative indicators based on a systematic approach. *Engineering system. AVOK North-West*. 2007. No 2 (28). p. 16–24. (in Russian)
  13. Kochenkov N. V. Energy-saving modes of air conditioning systems: monograph. Part 1: ACS, serving premises single-character loads. — St. Petersburg: VKA. A. F. Mozhaysky, 2009. 399 p. (in Russian)
  14. Meshchaninov A. V. Development of methods for using an applied computer program for modeling the processes of functioning of temperature control systems. SPb.: ITMO, 2016. 76 p. (in Russian)
  15. Salman A. S. S. Formalization of climate information for the city of Baghdad. Almanac of scientific works of young scientists of the XLII scientific and educational-methodical conference of the ITMO University. 2018. Vol. 4. p. 98–100. (in Russian)
  16. Kochenkov N. V. The problem of the development of scientific and methodological foundations for the creation of air conditioning systems for rooms with various loads. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2014. No 3. p. 48–52. (in Russian)
  17. Kochenkov N. V. The first and second recirculation in the central air conditioning system. *Bulletin of civil engineers*. 2015. No 1 (48). p. 172–181. (in Russian)

**Сведения об авторах****Коченков Николай Викторович**

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

**Салман Ахмед Саадаллах Салман**

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

**Information about authors****Kochenkov Nikolay V.**

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

**Salman Ahmed Saadallakh Salman**

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

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Национальный комитет по теплофизическим свойствам веществ РАН  
Университет ИТМО  
Международная академия холода  
Рабочая группа НС РАН «Свойства хладагентов и теплоносителей»

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ  
ТРАНСФОРМАЦИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ  
В КОНТЕКСТЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ГЛОБАЛИЗМА**

Посвящается 90-летию образования ЛТИХП

**02 февраля 2021 г.**

**ТЕМЫ, ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:**

- будущее индустрии холода в мировой экономике;
- инновационные энергосберегающие и экологически безопасные технологии низкотемпературной инженерии; когенерация и тригенерация в теплохладодизергетике;
- устойчивые холодильной цепи, теплохладоснабжение в промышленном секторе;
- альтернативные хладагенты, ограничения и компромиссы;
- природные хладагенты, транскритические системы на диоксиде углерода;
- смесевые хладагенты на основе ГФО; возобновляемые источники энергии, биоэнергетика;
- передовые решения в области промышленного климата, получение высококачественного льда;
- релевантные проблемы евроарктического региона, сохранение биоразнообразия фауны Земли;
- климатические изменения среды обитания;
- деградация вечной мерзлоты, замораживание и термостабилизация грунтов;
- теплофизические свойства рабочих веществ техники низких температур, интенсификации теплообмена, наноструктурированные и магнитокалорические материалы;
- абсорбционные холодильные установки, тепловые насосы.

**Информационная поддержка:**

журналы: «Вестник Международной академии холода», «Империя холода»  
Интернет-ресурс: Refportal

**Спонсоры:**

ООО «А и Т», ООО «Ривсмаш-Т», ООО «Геокриолог»,  
ООО «Инженерная геология и геотехника»,  
ЗАО «Инженерные системы охлаждения»,  
Инженерный центр энергоэффективных холодильных технологий и автоматики

Заявки на участие в конференции подавать до 15 января 2021 г. на имя Лаптева Ю.А.

E-mail: laptev\_yua@mail.ru

Тел.: 8 (812) 764 3035, +7 (911) 284 2191

Адрес проведения: Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, Университет ИТМО

**www.maxiar.spb.ru**