

УПРАВЛЕНИЕ «ПО ОТКЛОНЕНИЮ И ПО ВОЗМУЩЕНИЮ» – ОСНОВА ДЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Традиционно управление системами кондиционирования воздуха (СКВ) организуется по принципу отклонения фактических параметров воздуха в рабочей зоне помещения от их нормативно-заданных предельных значений. Недостатком способа управления СКВ, основанного на этом принципе, является следующее.

Во-первых, решается только задача стабилизации параметров воздуха в рабочей зоне помещения в нормативно-заданных пределах, а задача организации управления процессами обработки воздуха в СКВ по энергосберегающим технологиям, с тем, чтобы сократить расходы потребляемых при этом энергоресурсов до их оптимальных значений, — такая оптимизационная задача при управлении СКВ даже не ставится.

Во-вторых, управляющие воздействия в системе автоматического управления определяются по величине отклонения параметров воздуха в рабочей зоне помещения от их нормативно-заданных предельных значений, а не по изменениям тех возмущений, в результате совместного воздействия которых произошло это отклонение.

В-третьих, значительная инерционность в управлении, а также возможные автоколебательные процессы, ведущие к «раскачиванию» системы.

Для устранения указанных недостатков необходимо отказаться от традиционно используемого в СКВ принципа управления и вместо него использовать принцип управления «по отклонению и по возмущению». В противном случае, ни о каком энергосбережении и повышении эффективности использования энергоресурсов в этих энергоемких системах не может быть и речи.

Несмотря на то, что принцип управления «по отклонению и по возмущению» известен в общей теории систем автоматического управления и даже успешно используется в определенных областях техники, тем не менее в СКВ он до сих пор не нашел применения ни у нас в стране, ни за рубежом. Основная причина этого заключается в том, что требуется соответствующая адаптация этого принципа управления применительно к такому объекту, как СКВ.

В статье излагаются результаты исследований, направленных на дальнейшее развитие теоретических основ управления СКВ по энергосберегающим режимам, которые были заложены профессором А. А. Рымкевичем еще в 70-е годы прошлого столетия [1].

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Понятие «возмущающие воздействия (возмущения) на СКВ». Под этим понятием понимаются тепловлажностные и газовые нагрузки на эту систему. В зависимости от расположения источника этих возмущений относительно СКВ их целесообразно разделить на внешние и на внутренние.

Внешние возмущения на СКВ объединяются в соответствующий вектор \vec{f} , включающий в себя в общем случае следующие составляющие (рис. 1):

$$\vec{f} = \{f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6\},$$

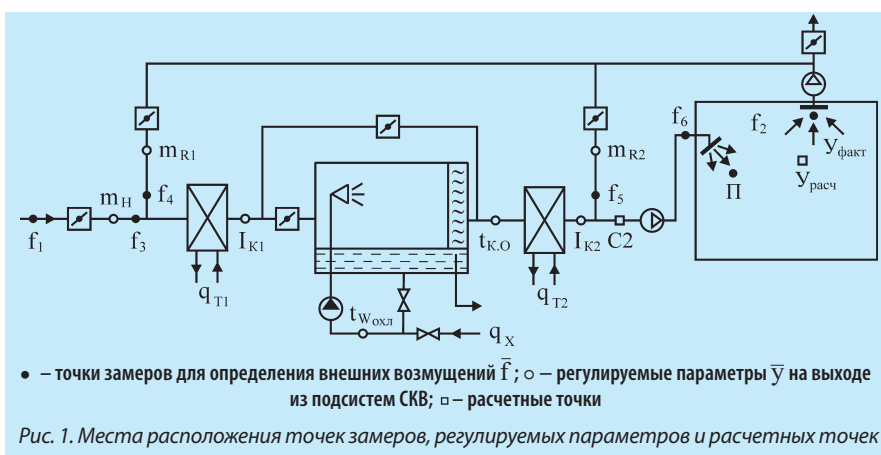


Рис. 1. Места расположения точек замеров, регулируемых параметров и расчетных точек

где: f_1 — внешние возмущения на СКВ, обусловленные изменением параметров наружного климата; f_2 — внешние возмущения на СКВ, обусловленные изменением тепловлажностной q_{T1} , W_{II} и газовой m_H нагрузки в помещении; f_3 – f_6 — внешние возмущения на СКВ, обусловленные изменением параметров воздуха в каналах его транспортировки, а именно: f_3 — в канале наружного воздуха; f_4 , f_5 — в канале воздуха I и II рециркуляции, соответственно; f_6 — в канале приточного воздуха.

Численные значения внешних возмущений \vec{f} должны определяться по результатам замеров соответствующих параметров воздуха в местах, обозначенных на рис. 1 в виде «●».

В отличие от внешних возмущений, внутренние возмущающие воздействия на СКВ присутствуют на уровне подсистем и для каждой из подсистем они специфичны. Внутренние возмущающие воздействия на СКВ объединяются в соответствующий вектор \vec{f}^* .

В соответствии с разделением возмущающих воздействий на СКВ на внешние \vec{f} и на внутренние \vec{f}^* целесообразно разделить и функцию управления СКВ на два уровня: верхний, на котором учитываются влияния на систему внешних возмущений \vec{f} (подсистемы при этом рассматриваются как «черные ящики»), и локальный уровень, на котором в каждой из подсистем учитываются влияния внутренних возмущений \vec{f}^* .

Понятие «регулируемые параметры и их расчетные значения». Регулируемые параметры целесообразно разделить на две группы, относящиеся, соответственно, к верхнему и локальному уровням управления.

Регулируемые параметры верхнего уровня управления объединены в соответствующий вектор \vec{y} . Расчетные значения для каждого из регулируемых параметров, входящих в вектор \vec{y} , определяются на верхнем уровне управления и объединяются в соответствующий вектор расчетных значений \vec{g} . Так, например, для системы, показанной на рис. 1, в качестве составляющих вектора \vec{y} рассматриваются следующие регулируемые параметры (места их расположения показаны в виде «○»):

m_H, m_{R1}, m_{R2} — удельные расходы воздуха, соответственно, наружного, I и II рециркуляции;

I_{K1}, I_{K2} — энтальпия воздуха после калорифера, соответственно, I и II подогрева;

$t_{к.о}$ — температура воздуха после камеры орошения;
 $t_{W_{охл}}$ — температура воды, подаваемой в камеру орошения при политропном охлаждении.

Тогда вектор \bar{y} и соответствующий ему вектор \bar{g} записываются в следующем виде:

$$\bar{y} = \{m_H, m_{R1}, m_{R2}, I_{K1}, I_{K2}, t_{к.о}, t_{W_{охл}}\};$$

$$\bar{g} = \{m_{H}^{расч}, m_{R1}^{расч}, m_{R2}^{расч}, I_{K1}^{расч}, I_{K2}^{расч}, t_{к.о}^{расч}, t_{W_{охл}}^{расч}\}.$$

$\underbrace{\qquad\qquad\qquad}_{\bar{y}_1} \qquad\qquad\qquad \underbrace{\qquad\qquad\qquad}_{\bar{y}_2}$
 $\underbrace{\qquad\qquad\qquad}_{\bar{g}_1} \qquad\qquad\qquad \underbrace{\qquad\qquad\qquad}_{\bar{g}_2}$

Регулируемые параметры верхнего уровня \bar{y} целесообразно разделить на две группы: $\bar{y} = \{\bar{y}_1, \bar{y}_2\}$, в зависимости от того, как на локальном уровне используется информация об их расчетных значениях. Для составляющих вектора \bar{y}_1 информация об их расчетных значениях, объединенная в соответствующий вектор \bar{g}_1 , используется на локальном уровне в качестве уставок, а сами регулируемые параметры, входящие в вектор \bar{y}_1 , именно таковыми и являются, поскольку используются непосредственно при организации регулирования на локальном уровне.

Для составляющих вектора \bar{y}_2 информация об их расчетных значениях, объединенная в соответствующий вектор \bar{g}_2 , используется в качестве исходной в моделях локального уровня, а сами регулируемые параметры, входящие в вектор \bar{y}_2 , трансформируются с учетом особенностей способов регулирования, принятых в подсистемах, в регулируемые параметры локального уровня, которые объединяются в соответствующий вектор \bar{y}_2^* . Расчетные значения для составляющих вектора \bar{y}_2^* объединены в соответствующий вектор \bar{g}_2^* . Расчетные значения составляющих вектора \bar{g}_2^* определяются на локальном уровне на основе информации о векторе \bar{g}_2 , переданной с верхнего уровня управления, а также с учетом особенностей регулирования в подсистемах. Составляющие векторов \bar{g}_1 и \bar{g}_2^* являются непосредственно уставками для локального уровня.

Понятие «отклонение» параметров воздуха в рабочей зоне помещения. Рассматривается наиболее общий случай, когда нормируемые параметры воздуха в рабочей зоне помещения заданы на I-d-диаграмме в виде области $Y_a - Y_b - Y_v - Y_r$ (рис. 2). Тогда поддерживать фактические их значения в течение годового цикла эксплуатации целесообразно по диагонали $Y_a - Y_b$, поскольку это наиболее благоприятный режим с точки зрения адаптации человека к изменению параметров воздуха в рабочей зоне помещения.

В традиционно используемом способе управления СКВ под отклонением параметров воздуха в рабочей зоне помещения понимается выход точки $Y_{факт}$ характеризующей фактические параметры воздуха в рабочей зоне помещения, за нормативно-заданные предельные значения. В этом случае отклонением будет являться величина « $Y_{факт} - Y_{норм}$ », где $Y_{норм}$ — одна из точек, характеризующих предельные нормативно-заданные параметры воздуха в рабочей зоне помещения.

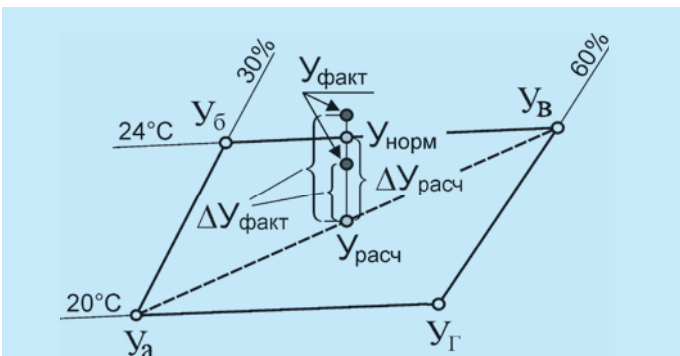


Рис. 2. Понятие «отклонение» параметров воздуха в рабочей зоне помещения

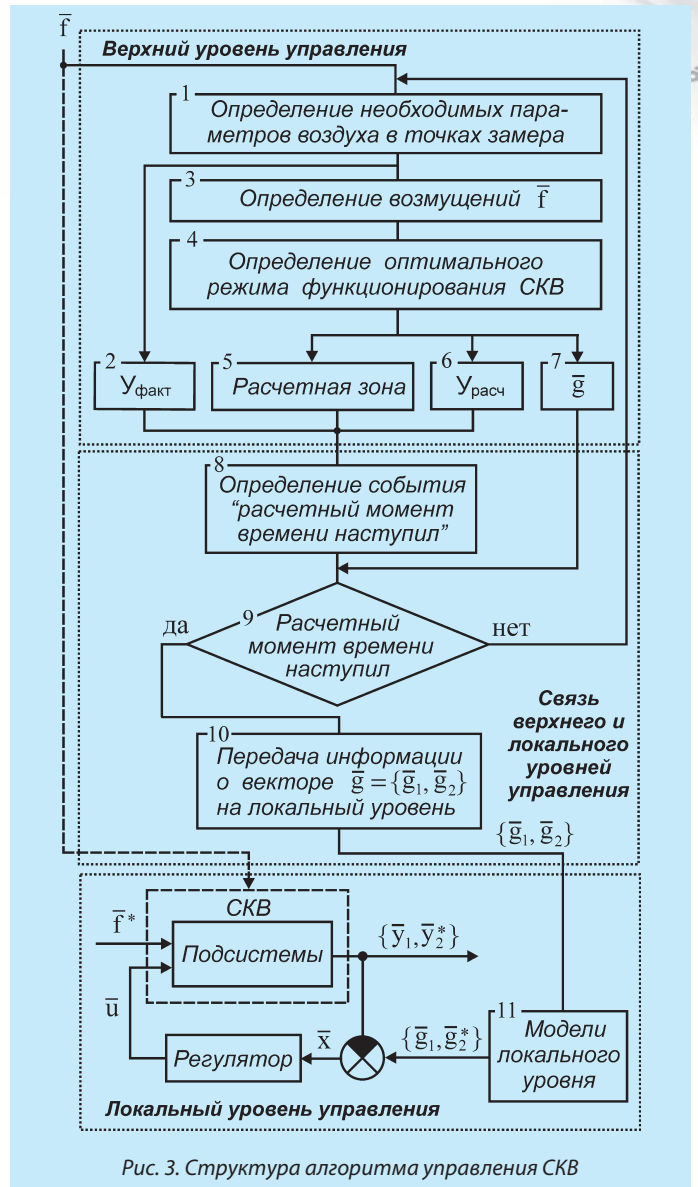


Рис. 3. Структура алгоритма управления СКВ

При организации управления СКВ по энергосберегающим технологиям в понятие «отклонение» должно вкладываться другое содержание, — в котором ключевое место занимает термин «расчетная точка $Y_{расч}$ ». Точка $Y_{расч}$ характеризует параметры воздуха в рабочей зоне помещения, которые требуется поддерживать в каждый конкретный момент времени при возмущениях \bar{f} . Располагается она на диагонали $Y_a - Y_b$.

Особенность точки $Y_{расч}$ заключается в том, что именно относительно нее, а не нормативно-заданных предельных значений (например, точки $Y_{норм}$, показанной на рис. 2), должны определяться фактические $\Delta Y_{факт}$ и расчетные $\Delta Y_{расч}$ отклонения параметров воздуха в рабочей зоне помещения:

$$\Delta Y_{факт} = Y_{факт} - Y_{расч};$$

$$\Delta Y_{расч} = Y_{норм} - Y_{расч}.$$

ПРИНЦИП УПРАВЛЕНИЯ СКВ «ПО ОТКЛОНЕНИЮ И ПО ВОЗМУЩЕНИЮ»

Вместо традиционно используемого в настоящее время принципа управления по отклонению фактических параметров воздуха в рабочей зоне помещения $Y_{факт}$ от их нормативно-заданных предельных значений $Y_{норм}$ предлагается использовать принцип управления по отклонению фактических параметров воздуха $Y_{факт}$ от их расчетных значений $Y_{расч}$ и по возмущению на СКВ \bar{f} . Структура алгоритма управления СКВ, построенная на этом принципе, показана на рис. 3. Укрупненно она включает в себя три составных части: верхний уровень управления; локальный уровень управления и связь между этими уровнями управления.

На верхнем уровне управления определяются необходимые параметры воздуха в точках замеров (блок 1). На рис. 1 эти точки показаны в виде «•». По результатам этих замеров определяются фактические термодинамические параметры $Y_{\text{факт}}$ (блок 2, см. рис. 3) и газовый состав воздуха в рабочей зоне помещения, а также рассчитываются по соответствующей методике внешние возмущения \bar{f} , представляющие собой реальные тепловлажностные и газовые нагрузки на СКВ в момент проведения замеров (блок 3).

На основе полученных расчетных данных о возмущениях \bar{f} определяется оптимальный режим функционирования СКВ при этих нагрузках (блок 4). В блоке 4 устанавливаются корреляционные связи между внешними возмущениями \bar{f} и теми оптимальными управляющими воздействиями в каждой из подсистем СКВ, которые должны иметь место при возмущениях \bar{f} .

Расчетная информация, полученная в блоке 4, представляется в следующем виде:

- расчетная зона, к которой относится точка наружного климата (блок 5);

- термодинамические параметры расчетной точки $Y_{\text{расч}}$ (блок 6);

- расчетные значения для регулируемых параметров верхнего уровня \bar{u} , представленные в виде составляющих вектора \bar{g} (блок 7).

Расчетная информация верхнего уровня управления, представленная в блоках 2, 5 и 6, предназначена для определения наступления события «расчетный момент времени наступил» (блок 8), при котором возникает необходимость в передаче скорректированной информации о векторе \bar{g} на локальный уровень управления для перенастройки уставок в подсистемах.

В общем случае такая необходимость в передаче информации о векторе \bar{g} с верхнего на локальный уровень управления определяется двумя факторами: с одной стороны — наличием изменения внешних возмущений на СКВ $\Delta\bar{f}$; с другой стороны — функционально-техническими характеристиками (ФТХ) используемых технических средств САУ, например, характеристиками, связанными с их инерционностью (т. е. пока на локальном уровне не отработают предыдущие управляющие воздействия, очередной расчетный момент времени наступить не сможет). Чтобы не усложнять понимание сущности излагаемого вопроса, введем допущение о том, что ФТХ технических средств САУ идеализированы. Это будет означать, что технические средства САУ способны реагировать на самые малые изменения составляющих вектора \bar{g} и оперативно обрабатывать управляющие воздействия на локальном уровне (т. е. идеализируется инерционность локального уровня управления). В этом случае момент наступления события «расчетный момент времени наступил», при котором возникает необходимость в передаче информации о векторе \bar{g} с верхнего уровня управления на локальный, будет определяться только наличием изменения внешних возмущений на СКВ \bar{f} . Содержание блока 8 подробнее будет рассмотрено ниже.

Если расчетный момент времени наступил, т. е. условие в блоке 9 выполняется, то информация о векторе \bar{g} передается с верхнего уровня на локальный в виде двух векторов — \bar{g}_1 и \bar{g}_2 (блок 10). При этом информация о векторе \bar{g}_1 остается без изменений, а вектор \bar{g}_2 трансформируется в моделях локального уровня в вектор \bar{g}_2^* , при определении составляющих которого учитываются принятые способы регулирования в подсистемах. Если же расчетный момент времени не наступил, т. е. условие в блоке 9 не выполняется, то верхний и локальный уровни управления функционируют автономно друг от друга.

На локальном уровне задача управления сводится к простому регулированию в каждой из подсистем одного или нескольких регулируемых параметров. При этом регулирование в подсистемах осуществляется по отклонению \bar{X} , где \bar{X} — вектор отклонений регулируемых параметров $\{\bar{y}_1, \bar{y}_2^*\}$ от их расчетных значений $\{\bar{g}_1, \bar{g}_2^*\}$, а все регулируемые параметры $\{\bar{y}_1, \bar{y}_2^*\}$ регулируются одновременно и независимо друг от друга во всех подсистемах.

Причиной отклонений \bar{X} на локальном уровне может быть влияние как внутренних возмущающих воздействий \bar{f}^* , так и внеш-

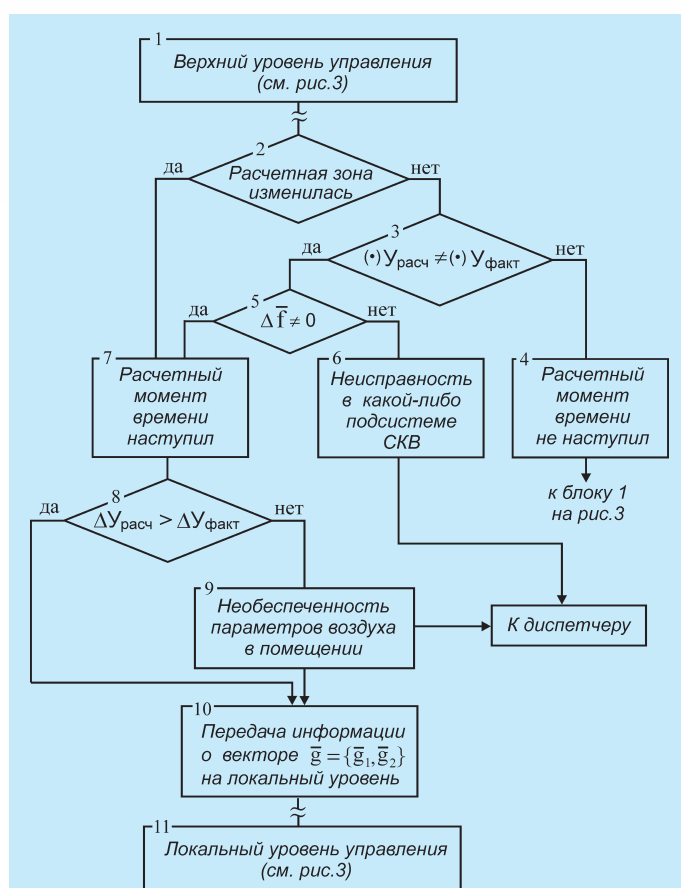


Рис. 4. Условие передачи информации о векторе \bar{g} с верхнего уровня на локальный

них возмущений \bar{f} , проявляющееся в корректировке расчетных значений вектора \bar{g} .¹

Регулирующие воздействия, которые вырабатывают регуляторы на локальном уровне с целью устранения отклонений \bar{X} в подсистемах, объединены в соответствующий вектор регулирующих воздействий \bar{u} .

Результатом решения задачи локального уровня управления является приведение режима функционирования СКВ в соответствие фактическим внешним возмущениям \bar{f} . При этом фактические параметры воздуха в рабочей зоне помещения, характеризующиеся точкой $Y_{\text{факт}}$, будут соответствовать расчетным параметрам, характеризующимся точкой $Y_{\text{расч}}$.

Следовательно, в интервалах между расчетными моментами времени верхний и локальный уровни управления функционируют автономно друг от друга, а взаимосвязь между ними в виде передачи информации о скорректированных значениях составляющих вектора \bar{g} с верхнего на локальный уровень происходит только в расчетные моменты времени.

Помимо информации о векторе \bar{g} на локальный уровень должна передаваться также дополнительная информация, которая требуется для выполнения расчетных процедур в моделях локального уровня. Например, это может быть информация о параметрах наружного климата в рассматриваемый момент времени. Какая именно дополнительная информация потребует при организации регулирования в подсистемах, уточняется после разработки моделей локального уровня. Отметим лишь, что такого рода дополнительная

¹ Еще одна причина наличия отклонений \bar{X} на локальном уровне связана с дискретностью типоразмеров оборудования, используемого в подсистемах СКВ, и с их реальными ФТХ, в результате чего регулируемые параметры после подсистем не могут быть равны их расчетным значениям. Однако для идеальной модели СКВ эту причину можно не рассматривать, поскольку ФТХ оборудования, в том числе и их типоразмер, идеализируются.

информация должна передаваться на локальный уровень независимо от того, наступил расчетный момент времени или нет.

Все расчетные процедуры, связанные с особенностями способов регулирования в подсистемах, должны быть переложены на локальный уровень, чтобы разгрузить верхний уровень от тех частных задач, которые могут быть решены на локальном уровне управления. Тогда на верхнем уровне управления останутся только те задачи, которые являются существенными при определении оптимального режима функционирования СКВ. При таком подходе верхний уровень управления унифицируется.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОБЫТИЯ «РАСЧЕТНЫЙ МОМЕНТ ВРЕМЕНИ НАСТУПИЛ»

Информация о расчетных значениях регулируемых параметров (блок 8 на рис. 3) в виде вектора \bar{g} передается с верхнего уровня на локальный в следующих случаях (рис. 4).

Во-первых, если изменилась расчетная зона, к которой относится точка наружного климата (блок 2). В этом случае даже неважно, будут ли отклонения $\Delta U_{\text{факт}}$ в рабочей зоне помещения, поскольку при изменении расчетной зоны однозначно должны произойти изменения, хотя бы одной из составляющих вектора \bar{g} . Условие в блоке 2 вынесено в начало алгоритма, чтобы подчеркнуть, что расчетная зона может измениться даже в том случае, когда внешние возмущения $f_2 - f_6$ остаются постоянными, а изменяются только параметры наружного климата, т. е. возмущение f_1 .

Во-вторых, расчетная зона может остаться той же самой, но появится отклонение $\Delta U_{\text{факт}}$ между фактическими и расчетными параметрами воздуха (блок 3). Это отклонение может быть обусловлено либо изменением положения точки $U_{\text{факт}}$ при неизменном положении точки $U_{\text{расч}}$, что характерно при влиянии внешних возмущений f_4, f_5, f_6 , либо изменением положения обеих точек — $U_{\text{факт}}$ и $U_{\text{расч}}$, что может иметь место при внешних возмущениях f_1, f_2, f_3 . В блоке 3 сравниваются между собой термодинамические параметры воздуха в точках $U_{\text{факт}}$ и $U_{\text{расч}}$. Если параметры в этих точках совпадают (с определенной степенью погрешности), т. е. условие в блоке 3 не выполняется, то расчетный момент времени еще не наступил (блок 4), а, следовательно, расчетные значения вектора \bar{g} , переданные на локальный уровень в предыдущий расчетный момент времени, не изменяются.

Следует обратить внимание на следующее: если расчетный момент времени не наступил, то это вовсе не означает, что все внешние возмущения \bar{f} остались без изменений. Так, особенностью возмущений f_1 и f_4 является то, что если при учете их влияния расчетная зона для точки наружного климата не изменилась, то в пределах расчетных зон 1, 1R, 9R, 10R с задачей компенсации возмущений f_1 и f_4 локальный уровень справится самостоятельно, без участия верхнего уровня управления. Это объясняется тем, что при компенсации этих возмущений расчетные значения \bar{g} регулируемых параметров верхнего уровня \bar{y} не изменяются, а корректируются только расчетные значения \bar{g}_2^* регулируемых параметров локального уровня \bar{y}_2^* .

Если же условие в блоке 3 выполняется, т. е. имеется фактическое отклонение $\Delta U_{\text{факт}}$, то выясняется причина этого отклонения (блок 5).

Так, если внешние возмущения на СКВ \bar{f} не изменились, т. е. $\Delta \bar{f} = 0$, то причиной возникшего отклонения $\Delta U_{\text{факт}}$ является техническая неисправность в какой-либо подсистеме СКВ (блок 6). При этом по величине отклонений \bar{X} регулируемых параметров $\{\bar{y}_1, \bar{y}_2^*\}$ от их расчетных значений $\{\bar{g}_1, \bar{g}_2^*\}$ может быть точно определено, какая именно это подсистема. Если же имеются изменения в возмущениях \bar{f} , т. е. условие в блоке 5 выполняется, то считается, что расчетный момент времени наступил (блок 7). Одновременное влияние изменения возмущений на СКВ $\Delta \bar{f}$ и неисправности в подсистеме также может иметь место, но здесь этот случай не рассматривается, чтобы не усложнять понимание сути излагаемого вопроса.

При наступлении расчетного момента времени (блок 7) важно знать, насколько отклонились друг от друга точки $U_{\text{факт}}$ и $U_{\text{расч}}$. Для этого сравниваются фактические $\Delta U_{\text{факт}}$ и расчетные $\Delta U_{\text{расч}}$ отклонения параметров воздуха в рабочей зоне помещения (блок 8).

Если фактическое отклонение $\Delta U_{\text{факт}}$ превысит расчетное $\Delta U_{\text{расч}}$, то в рабочей зоне помещения будет наблюдаться необеспеченность параметров воздуха (блок 9), и информация об этом должна быть передана диспетчеру. В любом случае, независимо от соотношения отклонений $\Delta U_{\text{факт}}$ и $\Delta U_{\text{расч}}$ в блоке 8, скорректированная информация о расчетных значениях регулируемых параметров верхнего уровня (информация о векторе \bar{g}) передается на локальный уровень (блок 10).

Первый расчетный момент времени после включения системы в работу может наступить по команде диспетчера.

Описанный принцип управления по отклонению фактических параметров воздуха $U_{\text{факт}}$ от расчетных $U_{\text{расч}}$ и по возмущению на СКВ \bar{f} позволит устранить указанные выше недостатки существующего в настоящее время способа управления СКВ. Система автоматического управления СКВ, использующая этот принцип, приобретает свойство приспосабливаться к изменению стохастически действующего фактора \bar{f} путем управления оптимальным режимом функционирования СКВ за счет корректировки расчетных значений регулируемых параметров.

Представленный алгоритм управления СКВ обосновывает в первом приближении требования к математическим моделям и алгоритмам для разработки соответствующего математического обеспечения и может служить прообразом технического задания на создание автоматизированной системы.

Н. В. КОЧЕНКОВ, к. т. н., доцент, ВКА им. А. Ф. Можайского

Литература

1. Рымкевич А. А., Халамейзер М. Б. «Управление системами кондиционирования воздуха». — М.: «Машиностроение», 1977 г.
2. Рымкевич А. А. «Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха». — СПб.: «АВОК С-3», 2003 г.
3. Коченков Н. В. «Энергосберегающие режимы систем кондиционирования воздуха». // Монография. Ч. 1: «СКВ, обслуживающие помещения с однохарактерными нагрузками». / СПб.: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2009 г.
4. Коченков Н. В. «Энергосберегающие режимы систем кондиционирования воздуха по методу профессора А. А. Рымкевича». // Учебное пособие. / СПб.: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2010 г.

Новости

СИСТЕМЫ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Пресс-система Viega Sanpress максимально соответствует всем жесточеным требованиям к гигиене питьевой воды, включая сырье, из которого изготовлены трубы и фитинги. Разнообразие диаметров и точность соблюдения стандартов производства — основные факторы для сохранения качества питьевой воды.

Чтобы спланировать надежный и эффективный монтаж системы, Viega предлагает расчетную программу Vip Tools для совместного использования с AutoCad и обучающие семинары на эту тему. Особые требования предъявляются к редко используемым точкам водоразбора. Использование пресс-соединений Sanpress, новых двойных водорозеток и тройников Sanpress опти-

мально соответствует гигиеническим требованиям для монтажа трубопроводов, будь то секционный или кольцевой трубопровод. Монтажный узел Sanpress для мембранных расширительных баков облегчает монтаж и обеспечивает промывку монтажного соединения.

«ЮЖКАБЕЛЬ» ПОЛУЧИЛ СЕРТИФИКАТ КЕМА

Завод «Южкabelь» (г. Харьков, Украина) провел испытания своей кабельной системы с рабочим напряжением 220 кВ в Амстердаме с последующей выдачей сертификата фирмы КЕМА. Данный сертификат позволит заводу «Южкabelь» осуществлять поставки кабелей до 220 кВ на строящиеся российские объекты.