

К вопросу водоподготовки в системах увлажнения воздуха

Одним из наиболее сложных и наукоемких процессов в области вентиляции и кондиционирования воздуха является его увлажнение, определяемое рядом основополагающих документов нормативно-справочного характера [1–3]. Успешная инженерно-техническая реализация систем увлажнения воздуха требует правильного выбора используемых методов и средств генерации пара, соблюдения достаточно строгих требований по его раздаче внутри обслуживаемого помещения, либо внутри приточной части вентиляционной системы, а также правильной организации дренажа избыточной влаги [4]. Имеет место ряд других, важных с практической точки зрения моментов, призванных избежать возможных нежелательных явлений, сопутствующих работе увлажнителя.

Особое значение имеет использование питающей воды соответствующего качества. Требования, предъявляемые при этом кардинальным образом различны между собой для увлажнителей, принцип действия и конструктивное исполнение которых отличаются весьма большим многообразием. К сожалению, данный вопрос до настоящего времени не нашел должного освещения в литературе, что в ряде случаев приводит к эксплуатационным ошибкам и преждевременному выходу из строя дорогостоящих технических средств. Известные публикации [5–8] относятся в большей части к водоподготовке в системах отопления и горячего водоснабжения зданий, что существенным образом отличается от водоподготовки в системах увлажнения воздуха.

Предлагаемая вниманию статья является попыткой дать разъяснения сути предъявляемых требований к качеству питающей воды для основных типов увлажнителей путем анализа физико-химических особенностей поведения веществ различной степени растворимости при переходе воды в пар, реализуемом тем или иным способом. Изложенные материалы имеют достаточно общий характер, охватывая практически все известные методы увлажнения воздуха. Однако, исходя из личного опыта автора, рассмотренные конкретные конструктивные исполнения агрегатов ограничены номенклатурой, поставляемой фирмой CAREL, в состав которой входят увлажнители воздуха различного типа в широком диапазоне используемых принципов действия [9–11].

Практическое применение имеют два основных способа увлажнения воздуха: изотермическое и адиабатическое.

Изотермическое увлажнение происходит при постоянной температуре ($\Delta t = 0$), т.е. при увеличении относительной влажности воздуха его температура остается неизменной. В воздух непосредственно поступает насыщенный пар. Фазовый переход воды из жидкого в парообразное состояние осуществляется за счет внешнего источника тепла. В зависимости от способа реализации внешнего тепла различают следующие типы изотермических увлажнителей воздуха:

- с погружными электродами (HomeSteam, HumiSteam);
- с электронагревательными элементами (HeaterSteam);
- газовые увлажнители (GaSteam).

Адиабатическое увлажнение происходит при постоянном количестве тепла ($\Delta Q = 0$). В воздух поступает тонкий водяной аэрозоль, который впоследствии испаряется. Фазовый переход осуществляется за счет внутренних поступлений тепла из воздуха, вследствие чего его температура понижается. В зависимости от способа диспергирования жидкой фазы различают следующие типы адиабатических увлажнителей воздуха:

- дисковые (HumiDisk);
- атомайзеры с использованием сжатого воздуха (MC);
- атомайзеры без использования сжатого воздуха (HumiFog).

Как правило, для увлажнения воздуха используется вода централизованных систем питьевого водоснабжения, качество которой регламентируется СанПиН 2.1.4.559–96 [12], ГОСТ 2874–82 [13], ГН 2.1.5.1315–03 [14] и ГН 2.1.5.1316–03 [15]. Указанными документами качество воды регламентируется по целому ряду количественных показателей, таких как микробиологические, паразитологические, органолептические, радиологические и др.





Только по содержанию вредных веществ в питьевой воде нормируются 724 показателя. Общие требования к разработке методов их определения регламентируются ГОСТ 8.556–91 [16]. С точки зрения использования воды в системах увлажнения воздуха далеко не все упомянутые выше показатели имеют существенное значение. Наиболее важными являются всего десять показателей, подробно рассмотренных ниже.

Общее количество растворенных в воде твердых веществ (Total Dissolved Solids, TDS)

Количество растворенных в воде веществ зависит от их физико-химических свойств, минерального состава почв, сквозь которые происходит их инфильтрация, температуры, времени контакта с минералами и *pH* среды инфильтрации. *TDS* измеряется в мг/л, что в весовых количествах эквивалентно одной части на миллион (parts per million, ppm).

В природе *TDS* воды колеблется в пределах от десятков до 35 000 мг/л, что соответствует наиболее соленой морской воде. Согласно действующим санитарно-гигиеническим требованиям питьевая вода должна содержать не более 2000 мг/л растворенных веществ.

На рис. 1 в логарифмическом масштабе представлена в зависимости от температуры растворимость ряда химических веществ (электролитов), наиболее часто присутствующих в воде в естественных условиях.

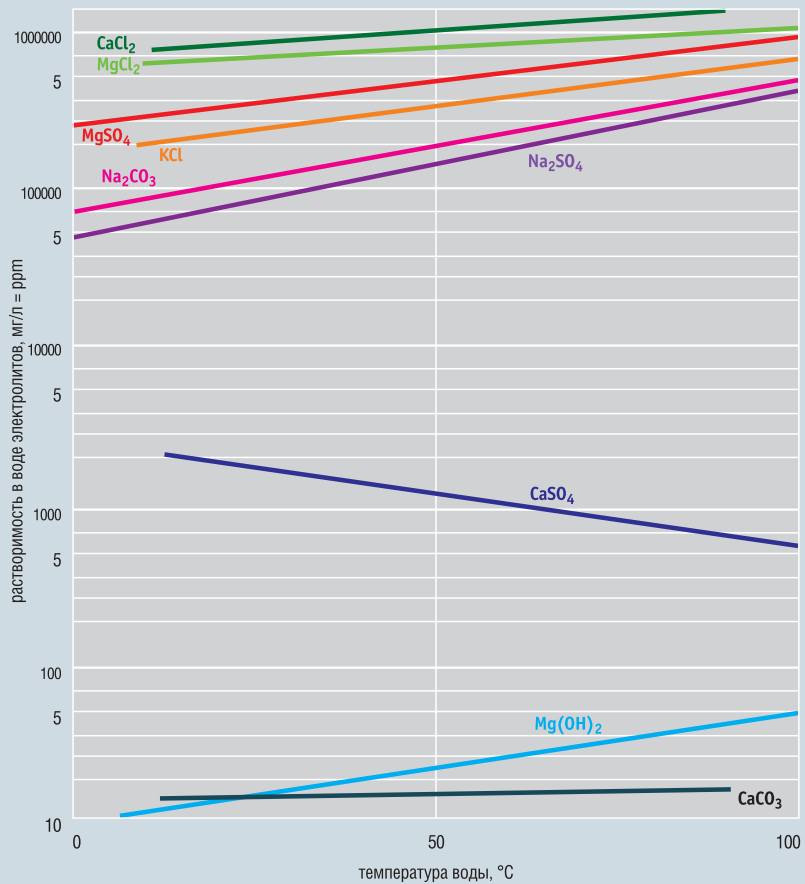
Обращает на себя внимание тот факт, что, в отличие от большинства солей (хлориды, сульфаты, карбонат натрия), присутствующих в воде, две из них (карбонат кальция CaCO_3 и гидроксид магния Mg(OH)_2) имеют относительно малую растворимость. В результате данные химические соединения формируют основную часть твердого остатка.

Другая характерная особенность касается сульфата кальция (CaSO_4), растворимость которого, в отличие от большинства других солей, снижается с ростом температуры воды.

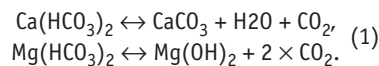
Общая жесткость (Total Hardness, TH)

Общая жесткость воды определяется количеством солей кальция и магния, растворенных в ней, и подразделяется на следующие две части:

Рис. 1. Растворимость в воде некоторых электролитов



- постоянная (некарбонатная) жесткость, определяемая содержанием сульфатов и хлоридов кальция и магния, остающихся растворенными в воде при повышенной температуре;
- переменная (карбонатная) жесткость, определяемая содержанием бикарбонатов кальция и магния, которые при определенной температуре и/или давлении участвуют в указанных ниже химических процессах (1), играющих ключевую роль в формировании твердого остатка.



При снижении содержания растворенной двуокиси углерода химический баланс указанных процессов смещается вправо, приводя к образованию из бикарбонатов кальция и магния малорастворимых карбоната кальция и гидроксида магния, выпадающих из раствора воды с образованием твердого остатка.

Интенсивность протекания рассмотренных процессов зависит также от *pH* воды, температуры, давления и некоторых других факторов.

Следует иметь в виду, что растворимость двуокиси углерода резко снижается с ростом температуры, в результате чего при нагревании воды смещение баланса процессов вправо сопровождается образованием, как указано выше, твердого остатка.

Концентрация двуокиси углерода уменьшается также при понижении давления, что, например, в силу отмеченного выше смещения рассмотренных процессов (1) вправо служит причиной образования твердых отложений в устьях сопел увлажнителей воздуха распылительного типа (атомайзеров).

Причем чем больше скорость в сопле и, соответственно, согласно закону Бернулли глубже разрежение, тем интенсивнее происходит формирование твердых отложений. В особенности это касается атомайзеров без использования сжатого воздуха (HumiFog), которые характеризуются максимальной скоростью в устье сопла диаметром не более 0,2 мм.

Наконец, чем больше *pH* воды (более щелочная), тем меньше растворимость карбоната кальция и больше твердого образуемого остатка. ➔

Табл. 1 Соотношения используемых единиц измерения жесткости воды

Единица измерения Содержание вещества	мг-экв/ л (Ca)	Нем. °dH 10 мг/л CaO	Англ. °eH 1 гран / UK галлон CaCO ₃	Франц. °fH 10 мг/л CaCO ₃	Америк. °usH 1 ppm (промилле) CaCO ₃	Америк. °USH 1 гран / US галлон CaCO ₃	Русск. °suH 1 мг/л Ca ²⁺
Молекулярная масса	–	56,079	100,089	100,089	100,089	100,089	40,08
Мг-экв/л	1,00	2,80	3,51	5,01	50,10	2,93	20,04
Немецкие °dH	0,36	1,00	1,25	1,78	17,80	1,04	7,15
Английский °eH	0,28	0,80	1,00	1,43	14,30	0,83	5,70
Французские °fH	0,20	0,56	0,70	1,00	10,0	0,58	4,01
Американские °usH*	0,02	0,056	0,070	0,10	1,00	0,06	0,40
Американский °USH	0,34	0,96	1,20	1,71	17,16	1,00	6,84
Русские °suH	0,05	0,14	0,17	0,25	2,5	0,15	1,00

* мг-экв = мг × атомная масса / валентность; 1 гран = UK торг. фунт / 7000 = 453,6 × 103 / 7000 = 64,8 мг; 1 UK галлон = 4,54609 л; 1 US галлон = 3,78541 л.

► В связи с преобладающей ролью CaCO₃ в формировании твердого остатка мера жесткости воды определяется содержанием Ca (иона) или его химических соединений. Существующее многообразие единиц измерения жесткости сведено в табл. 1.

В США принята следующая классификация жесткости воды, предназначенной для хозяйственно-бытовых нужд:

- 0,1–0,5 мг-экв/л – практически мягкая вода;
- 0,5–1,0 мг-экв/л – мягкая вода;
- 1,0–2,0 мг-экв/л – вода слабой жесткости;
- 2,0–3,0 мг-экв/л – жесткая вода;
- > 3,0 мг-экв/л – очень жесткая вода.

В Европе жесткость воды классифицируется следующим образом:

- $TH < 4^{\circ}fH$ (< 0,8 мг-экв/л) – очень мягкая вода;
- $TH = 4–8^{\circ}fH$ (0,8–1,6 мг-экв/л) – мягкая вода;
- $TH = 8–12^{\circ}fH$ (1,6–2,4 мг-экв/л) – вода средней жесткости;
- $TH = 12–18^{\circ}fH$ (2,4–3,6 мг-экв/л) – практически жесткая вода;
- $TH = 18–30^{\circ}fH$ (3,6–6,0 мг-экв/л) – жесткая вода;
- $TH > 30^{\circ}fH$ (> 6,0 мг-экв/л) – очень жесткая вода.

Отечественные нормативы жесткости воды характеризуются существенно отличающимися значениями. Согласно санитарным правилам и нормам СанПиН 2.1.4.559–96 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» [12] (п. 4.4.1) предельно-допустимой является жесткость воды 7 мг-экв/л. В то же время указанная величина может быть увеличена до 10 мг-экв/л по постановлению главного государственного санитарного врача на соответствующей территории для конкретной системы водоснабжения по результатам оценки санитарно-эпидемиологической обстановки

в населенном пункте и применяемой технологии водоподготовки. Согласно СанПиН 2.1.4.1116–02 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества» [17] (п. 4.7) норматив физиологической полноценности питьевой воды по показателю жесткости должен находиться в пределах 1,5–7 мг-экв/л.

При этом норматив качества расфасованных вод первой категории характеризуется величиной жесткости 7 мг-экв/л и высшей категории — 1,5–7 мг-экв/л. Согласно ГОСТ 2874–82 «Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством» [13] (п. 1.5.2) жесткость воды не должна превышать 7 мг-экв/л. При этом для водопроводов, подающих воду без специальной обработки, по согласованию с органами санитарно-эпидемиологической службы допускается жесткость воды до 10 мг-экв/л.

Таким образом, можно констатировать, что в России допускается использование воды чрезвычайной жесткости, что требует учитывать при эксплуатации увлажнителей воздуха всех типов. В особенности это касается увлажнителей воздуха адиабатического типа, безусловным образом требующих соответствующей водоподготовки. Что касается изотермических (паровых) увлажнителей, следует иметь в виду, что определенная степень жесткости воды является положительным фактором, способствующим пассивации металлических поверхностей (цинк, углеродистая сталь) за счет формируемой защитной пленки, способствующей ингибированию коррозии, развивающейся под действием присутствующих хлоридов. В связи с этим для изотермических увлажнителей электродного типа в ряде случаев устанавливаются предельные значения не только по максимальным, но и по минимальным значениям жесткости используемой воды.

Следует отметить, что на территории России используемая вода существенно

различается по показателю жесткости, зачастую превышая указанные выше нормативы. Например:

- наиболее высокая жесткость воды (до 20–30 мг-экв/л) характерна для Калмыкии, южных регионов России и Кавказа;
- в подземных водах Центрального района (включая Подмоскovie) жесткость воды колеблется от 3 до 10 мг-экв/л;
- в северных регионах России жесткость воды невелика: в пределах от 0,5 до 2 мг-экв/л;
- жесткость воды в Санкт-Петербурге не превышает 1 мг-экв/л;
- жесткость дождевой и талой воды колеблется в интервале от 0,5 до 0,8 мг-экв/л;
- московская вода имеет жесткость 2–3 мг-экв/л.

Сухой остаток при 180°C (Dry residue at 180°C, R_{180})

Данный показатель количественно характеризует сухой остаток после полного испарения воды и нагрева до 180°C, отличаясь от общего количества растворенных в воде твердых веществ (TDS) тем вкладом, который оказывают диссоциирующие, улетучивающиеся и абсорбируемые химические соединения. Таковыми, например, являются CO₂, присутствующая в бикарбонатах, и H₂O, содержащаяся в гидратированных молекулах солей. Разница ($TDS - R_{180}$) пропорциональна содержанию бикарбонатов в используемой воде. В питьевой воде рекомендуются значения R_{180} , не превышающие 1500 мг/л. Природные источники воды классифицируются следующим образом:

- $R_{180} < 200$ мг/л – слабая минерализация;
- $R_{180} = 200–1000$ мг/л – средняя минерализация;
- $R_{180} > 1000$ мг/л – высокая минерализация.



Удельная проводимость при 20°C (Specific conductivity at 20°C, σ_{20})

Удельная проводимость воды характеризует сопротивление протекающему электрическому току, будучи зависима от содержания растворенных в ней электролитов, которыми в природной воде служат, в основном, неорганические соли. Единицей измерения удельной проводимости служат мксименс/см (мкС/см). Удельная проводимость чистой воды чрезвычайно низка (около 0,05 мкС/см при 20°C), увеличиваясь существенным образом в зависимости от концентрации растворенных солей. Следует заметить, что удельная проводимость находится в сильной зависимости от температуры, как показано на рис. 2.

Вследствие этого удельная проводимость указывается при стандартном значении температуры 20°C (реже 25°C) и обозначается символом σ_{20} .

Если σ_{20} известна, то значения $\sigma_{t^{\circ}\text{C}}$, соответствующие температуре t , выраженной в °C, определяются по формуле:

$$\sigma_{t^{\circ}\text{C}} / \sigma_{20} = 1 + \alpha_{20} \times (t - 20), \quad (2)$$

где: α_{20} — температурный коэффициент ($\alpha_{20} \approx 0,025$). Зная σ_{20} , ориентировочно могут быть оценены значения **TDS** и R_{180} с использованием эмпирических формул:

$$\text{TDS} \approx 0,93 \times \sigma_{20}, \quad R_{180} \approx 0,65 \times \sigma_{20}. \quad (3)$$

Следует отметить, что, если оценка таким образом **TDS** имеет небольшую погрешность, то оценка R_{180} имеет значительно меньшую точность и существенным образом зависит от содержания бикарбонатов по отношению к другим электролитам.

Кислотность и щелочность (Acidity and alkalinity, pH)

Кислотность определяется ионами H^+ , которые крайне агрессивны по отношению к металлам, особенно к цинку и углеродистой стали. Нейтральная вода имеет значение $\text{pH} = 7$. При более низких значениях проявляются кислотные свойства, и, наоборот, при более высоких значениях — щелочные.

Кислотная среда приводит к растворению защитной окисной пленки, что способствует развитию коррозии. Как показано на рис. 3, при значениях pH ниже 6,5 интенсивность коррозии значительно возрастает, в то время как в щелочной среде при pH более 12 интенсивность коррозии также несколько увеличена. Коррозионная активность в кислотной среде увеличивается с ростом температуры.

Рис. 2. Зависимость удельной проводимости от температуры

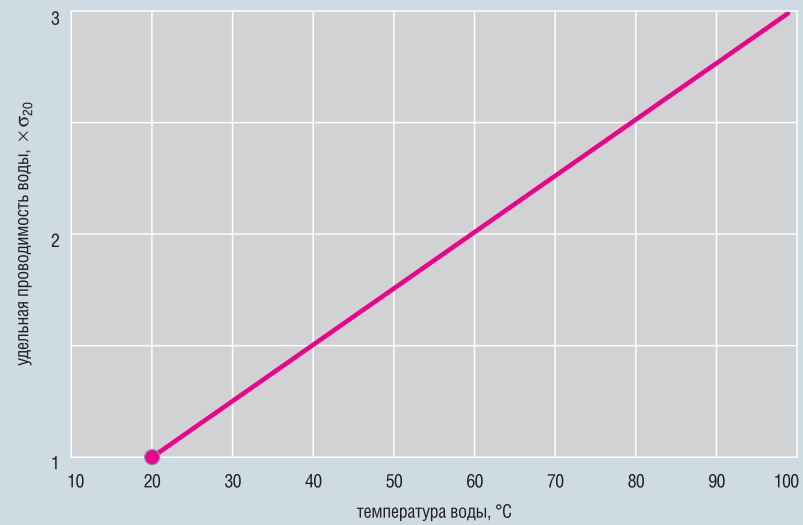
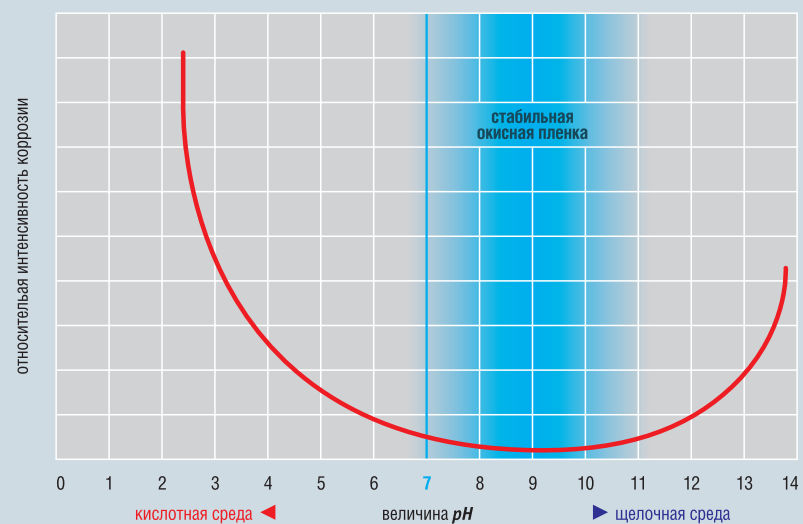


Рис. 3. Интенсивность коррозии Fe и Zn в зависимости от pH



Следует иметь в виду, что при $\text{pH} < 7$ (кислотная среда) латунный сплав теряет цинк, в результате чего образуются поры и латунь становится ломкой. Интенсивность данного вида коррозии зависит от процентного содержания цинка.

Алюминий ведет себя иным образом, поскольку на его поверхности образуется защитная пленка, сохраняющая устойчивость при значениях pH от 4 до 8,5.

Хлориды (Chlorides, Cl^-)

Присутствующие в воде ионы хлоридов вызывают коррозию металлов, особенно цинка и углеродистой стали, вступая во взаимодействие с атомами металлов после разрушения поверхностной защитной пленки, формируемой

смесью оксидов, гидроксидов и других щелочных солей, образуемых благодаря присутствию в воде растворенной CO_2 и наличию примесей в атмосферном воздухе.

Наличие электромагнитных полей характерных для изотермических (паровых) увлажнителей с погружными электродами, усиливает указанный выше эффект.

Хлориды особенно активны при недостаточной жесткости воды. Ранее указывалось, что присутствие ионов кальция и магния оказывает пассивирующее действие, ингибируя коррозию, особенно при повышенной температуре.

На рис. 4 схематично показано ингибирующее влияние временной жесткости с точки зрения коррозионного воздействия хлоридов на цинк. ➔

Кроме того, необходимо отметить, что значительное количество хлоридов интенсифицирует пенообразование, негативно сказывающееся на работу изотермических увлажнителей всех типов (с погружными электродами, с электронагревательными элементами, газовые).

Железо + Марганец

(Iron + Manganese, Fe + Mn)

Присутствие этих элементов вызывает образование взвешенной суспензии, поверхностных отложений и/или вторичную коррозию, что предполагает необходимость их удаления, особенно при работе с адиабатическими увлажнителями, использующими водоподготовку методом обратного осмоса, поскольку в противном случае имеет место быстрое засорение мембран.

Диоксид кремния (Silica, SiO₂)

Диоксид кремния (кремнезем) может содержаться в воде в коллоидальном или частично растворенном состоянии. Количество SiO₂ может варьироваться от следовых количеств до десятков мг/л. Обычно количество SiO₂ является повышенным в мягкой воде и при наличии щелочной среды (pH >> 7). Присутствие SiO₂ особенно негативно сказывается на работе изотермических увлажнителей ввиду образования твердого, трудно удаляемого твердого осадка, состоящего из диоксида кремния или образуемого силиката кальция.

Остаточный хлор (Residual chlorine, Cl⁻)

Присутствие в воде остаточного хлора обычно обусловлено дезинфекцией питьевой воды и для всех видов увлажнителей ограничивается минимальными значениями во избежание появления резких запахов, поступающих в увлажняемые помещения вместе с парами влаги. Кроме того, свободный хлор путем образования хлоридов приводит к коррозии металлов.

Сульфат кальция (Calcium sulphate, CaSO₄)

Сульфат кальция, присутствующий в природной воде, имеет невысокую степень растворимости, в связи с чем он склонен к образованию осадка. Сульфат кальция присутствует в двух стабильных формах:

- безводный сульфат кальция, носящий наименование ангидрит;
- двухводный сульфат кальция CaSO₄ × 2H₂O, известный как мел, который при температуре, превышающей 97,3°C, дегидратируется с образованием CaSO₄ × 1/2 H₂O (полугидрат).

Рис. 4. Ингибирующее влияние временной жесткости на цинк

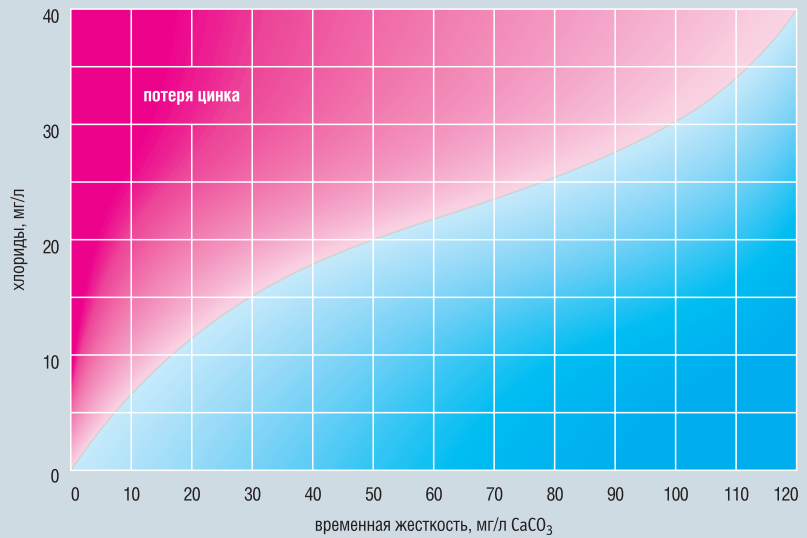


Рис. 5. Растворимость сульфата кальция в воде

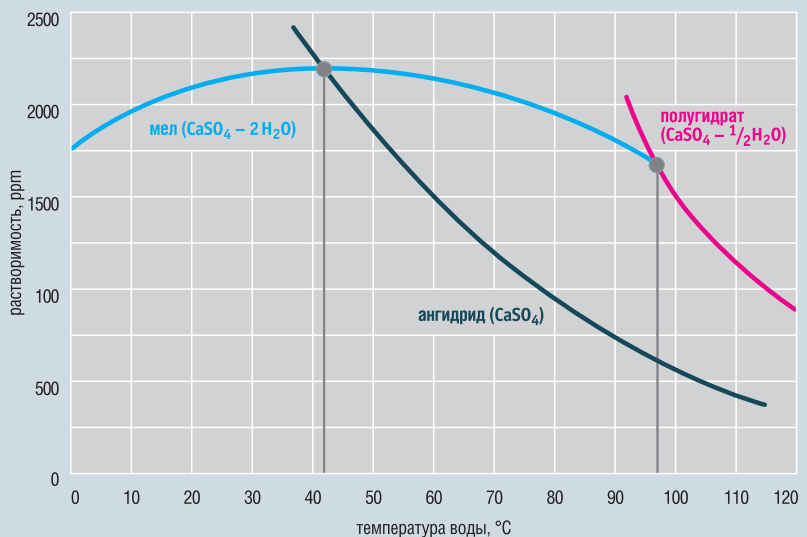


Табл. 2. Параметры питательной воды для увлажнителей HomeSteam, HumiSteam

Параметр	Предельные значения			
	увлажнитель на стандартной воде		увлажнитель на воде с пониженным содержанием солей	
	min	max	min	max
Показатель кислотности, pH	7	8,5	7	8,5
Удельная проводимость σ ₂₀ при 20°C, мкс/см	300	1250	125	500
Общее количество растворенных в воде твердых веществ TDS, мг/л	— ¹	— ¹	— ¹	— ¹
Сухой остаток R ₁₈₀ при 180°C, мг/л	— ¹	— ¹	— ¹	— ¹
Общая жесткость TH, мг/л CaCO ₃	150	400	0	200
Временная жесткость, мг/л CaCO ₃	—	300	—	150
Железо + марганец, мг/л Fe + Mn	—	0,2	—	0,2
Хлориды, промилль Cl	—	30	—	20
Диоксид кремния, мг/л SiO ₂	—	20	—	20
Остаточный хлор, мг/л Cl ⁻	—	0,2	—	0,2
Сульфат кальция, мг/л CaSO ₄	—	100	—	60

¹ Значения зависят от удельной проводимости в соответствии с формулами (3).

Как показано на рис. 5, при температуре ниже 42°C двухводный сульфат обладает пониженной растворимостью по сравнению с безводным сульфатом кальция.

В изотермических увлажнителях при температуре воды, соответствующей точке кипения, сульфат кальция может присутствовать в следующих формах:

- полугидрат, который при 100°C имеет растворимость около 1650 ppm, что соответствует приблизительно 1500 ppm в пересчете на ангидрит сульфата кальция;
- ангидрит, который при 100°C имеет растворимость около 600 ppm.

Избыточное количество сульфата кальция при этом выпадает в осадок, образуя пастообразную массу, при определенных условиях имеющую склонность к затвердеванию.

Сводные данные по предельным значениям рассмотренных выше параметров питающей воды для увлажнителей воздуха различного типа представлены в следующей серии таблиц. При этом следует учитывать, что изотермические увлажнители с погружными электродами могут снабжаться цилиндрами, предназначенными для работы на стандартной воде и воде с пониженным содержанием солей. Изотермические увлажнители электронагревательного типа могут иметь или не иметь тефлоновое покрытие нагревательного элемента.

Изотермические (паровые) увлажнители с погружными электродами [HomeSteam (UM), HumiSteam (UE)]

Увлажнитель подключается к водопроводной сети со следующими параметрами:

- давление от 0,1 до 0,8 МПа (1–8 бар), температура от 1 до 40°C, скорость потока не ниже 0,6 л/мин (номинального значения для питательного электромагнитного клапана);
- жесткость не более 40°fH (что соответствует 400 мг/л CaCO₃), удельная проводимость 125–1250 мкС/см;
- отсутствие органических соединений;
- параметры питательной воды должны лежать в указанных пределах (табл. 2).

Не рекомендуется:

1. Использование родниковой воды, промышленной воды или воды холодильных контуров, а также потенциально химически или бактериально загрязненной воды;
2. Добавление в воду дезинфицирующих средств или антикоррозийных добавок, которые являются потенциально вредными веществами.

Увлажнители с электронагревательными элементами [HeaterSteam (UR)]

Питательная вода, на которой работает увлажнитель, не должна обладать неприятным запахом, содержать коррозионных агентов или избыточное количество минеральных солей.

Увлажнитель может функционировать на водопроводной или деминерализованной воде, имеющей следующие характеристики (табл. 3). Не рекомендуется:

1. Использование родниковой воды, технической воды, воды из градирен, а также воды, имеющей химические или бактериологические загрязнения;
2. Добавление в воду дезинфицирующих и антикоррозийных добавок, так как увлажнение воздуха такой водой может вызвать у окружающих аллергические реакции. ►

Табл. 3. Параметры питательной воды для увлажнителей HeaterSteam

Параметр	Предельные значения			
	для нагреват. элемента с тефлонов. покрытием		для нагреват. элемента без тефлонов. покрытия	
	min	max	min	max
Показатель кислотности, <i>pH</i>	6,5	8	6	8,5
Удельная проводимость σ_{20} при 20°C, мкС/см	20	1500	1	1500
Общее количество растворенных в воде твердых веществ <i>TDS</i> , мг/л	–1	–1	–1	–1
Сухой остаток R_{180} при 180°C, мг/л	–1	–1	–1	–1
Общая жесткость <i>ТН</i> , мг/л CaCO ₃	0 ²	400	0	400
Временная жесткость, мг/л CaCO ₃	0 ³	300	0	300
Железо + марганец, мг/л Fe + Mn	–	0,2	–	0,2
Хлориды, промилль Cl	–	20	–	50
Диоксид кремния, мг/л SiO ₂	–	20	–	20
Остаточный хлор, мг/л Cl [–]	–	0,2	–	0,2
Сульфат кальция, мг/л CaSO ₄	–	100	–	100
Металлические примеси, мг/л	0	0	0	0
Растворители, масла, мг/л	0	0	0	0

Табл. 4. Параметры питательной воды для увлажнителей GaSteam

Параметр	Предельные значения	
	min	max
Показатель кислотности, <i>pH</i>	7,0	8,5
Удельная проводимость σ_{20} при 20°C, мкС/см	0	1500
Общее количество растворенных в воде твердых веществ <i>TDS</i> , мг/л	–1	–1
Сухой остаток R_{180} при 180°C, мг/л	–1	–1
Общая жесткость <i>ТН</i> , мг/л CaCO ₃	–	400
Временная жесткость, мг/л CaCO ₃	–	400
Железо + марганец, мг/л Fe + Mn	–	0,2
Хлориды, промилль Cl	–	50
Диоксид кремния, мг/л SiO ₂	–	20
Остаточный хлор, мг/л Cl [–]	–	0,2
Сульфат кальция, мг/л CaSO ₄	–	100

Табл. 5. Параметры питательной воды для увлажнителей HumiFog

Параметр	Предельные значения	
	min	max
Показатель кислотности, <i>pH</i>	6,5	8,5
Удельная проводимость σ_{20} при 20°C, мкС/см	0	50
Общее количество растворенных в воде твердых веществ <i>TDS</i> , мг/л	–1	–1
Сухой остаток R_{180} при 180°C, мг/л	–1	–1
Общая жесткость <i>ТН</i> , мг/л CaCO ₃	0	25
Временная жесткость, мг/л CaCO ₃	0	15
Железо + марганец, мг/л Fe + Mn	0	0,2
Хлориды, промилль Cl	0	10
Диоксид кремния, мг/л SiO ₂	0	1
Остаточный хлор, мг/л Cl [–]	0	0
Сульфат кальция, мг/л CaSO ₄	0	5

Табл. 6. Параметры питательной воды для увлажнителей HumiDisk

Параметр	Предельные значения	
	min	max
Удельная проводимость σ_{20} при 20°C, мкС/см	100	1200
Общая жесткость <i>ТН</i> , мг/л CaCO ₃	0	300

¹ Значения зависят от удельной проводимости в соответствии с формулами (3).
² Не менее 200 % содержания ионов хлора в мг/л Cl[–].
³ Не менее 300 % содержания ионов хлора в мг/л Cl[–].

Газовые увлажнители [GaSteam (UG)]

Газовые увлажнители могут функционировать на воде, имеющей следующие характеристики (табл. 4).

Для сокращения частоты технического обслуживания парового цилиндра и теплообменника, а именно, их чистки, рекомендуется использование деминерализованной воды.

Не рекомендуется:

1. Использование родниковой воды, промышленной воды или воды с холодильных контуров, а также потенциально химически или бактериально загрязненной воды;
2. Добавление в воду дезинфицирующих средств или антикоррозийных добавок, т.к. они являются потенциально вредными веществами.

Адиабатические (распылительные) увлажнители (атомайзеры), работающие на сжатом воздухе [МС]

Увлажнители адиабатического типа МС могут работать как на водопроводной, так и на деминерализованной воде, в которой отсутствуют бактерии и соли, имеющиеся в обычной воде. Это дает возможность использовать увлажнители данного типа в больницах, аптеках, операционных, лабораториях и других специальных помещениях, где требуется соблюдение стерильности.

Адиабатические (распылительные) увлажнители (атомайзеры), работающие на воде высокого давления [HumiFog (UA)]

Увлажнители HumiFog могут работать только на деминерализованной воде (табл. 5). С этой целью, как правило, используется водоподготовка, соответствующая ниже перечисленным параметрам. Первые три параметра играют первостепенную роль и должны соблюдаться при любых условиях.

При удельной электропроводности воды ниже 30 мкС/см рекомендуется использовать насосный агрегат, выполненный полностью из нержавеющей стали.

Адиабатические центробежные (дисковые) увлажнители [HumiDisk (HD)]

Адиабатические центробежные увлажнители могут функционировать на воде, имеющей следующие параметры (табл. 6).



Адиабатические ультразвуковые увлажнители [HumiSonic (HSU)]

В адиабатических ультразвуковых увлажнителях HSU используется только деминерализованная вода. Потребная степень деминерализации зависит от конструктивного исполнения и целевого назначения ультразвуковых увлажнителей.

Увлажнители воздуха для холодильных прилавок (HSU DC) работают на воде, электропроводность которой не должна превышать 0,1 мкС/см, что соответствует параметрам «трилен»-дистиллята. Увлажнители, предназначенные для монтажа в составе центральных кондиционеров или в приточных воздуховодах (HSU DU) работают на воде, электропроводность которой не должна превышать 5 мкС/см. Однако при этом мгновенная максимальная электропроводность допускается до 20 мкС/см. Увлажнители воздуха для фанкойлов (HSU FC) работают на воде, электропроводность которой не должна превышать 20 мкС/см. Ультразвуковые увлажнители в комнатном исполнении (HSU RM) работают на воде, электропроводность которой должна находиться в пределах от 5 до 20 мкС/см.

Увлажнители непосредственного действия [UltimateSteam (DS)]

Увлажнители непосредственного действия DS не используют воду как таковую. С их помощью осуществляется подача уже имеющегося пара в секцию увлажнения центральных кондиционеров или в приточные воздуховоды.

Как очевидно из рассмотренных приведенных выше сведений, в ряде случаев желательна, а в некоторых из них обязательна соответствующая водоподготовка путем замещения, преобразования или удаления определенных химических элементов или соединений, растворенных в питающей воде. Тем самым предотвращается преждевременный выход из строя используемых увлажнителей воздуха, увеличиваются сроки службы расходных элементов и материалов, таких как, например, паровых цилиндров, и сокращается объем работ, связанных с периодическим техническим обслуживанием.

Основными задачами водоподготовки является снижение до определенной степени коррозионной активности и образования солевых отложений

в виде накипи, шлама и твердых осадков. Характер и степень водоподготовки зависят от соотношения фактических параметров имеющейся в распоряжении воды и требуемых для каждого из рассмотренных выше увлажнителей.

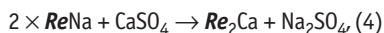
Рассмотрим последовательно основные используемые методы водоподготовки.

Умягчение воды

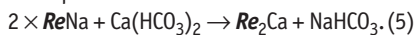
Данный метод снижает жесткость воды без изменения количества электролита, растворенного в воде. При этом осуществляется замещение ионов, ответственных за избыточную жесткость. В частности, ионы кальция (Ca) и магния (Mg) замещаются ионами натрия (Na), что предотвращает образование известковых отложений при нагревании воды, поскольку в отличие от карбонатов кальция и магния, формирующей переменную составляющую жесткости, карбонат натрия остается растворенным в воде при повышенной температуре.

Обычно процесс умягчения воды реализуется с использованием ионообменных смол. ▶▶

При использовании натриевых ионообменных смол ($ReNa$) химические реакции выглядят следующим образом, постоянная жесткость:

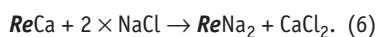


переменная жесткость:



Таким образом, происходит фиксирование на ионообменных смолах ионов, ответственных за избыточную жесткость (данном случае Ca^{++}) и растворение Na^+ ионов.

Поскольку ионообменные смолы постепенно насыщаются ионами кальция и магния, эффективность их действия со временем снижается и требуется проведение регенерации, которая осуществляется обратной промывкой разбавленным раствором хлорида натрия (поваренная соль):



Образующие хлориды кальция или магния являются растворимыми и уносятся вместе с промывающей водой. Вместе с тем, следует учитывать, что умягченная вода обладает повышенной химической коррозионной активностью, а также увеличенной удельной проводимостью, что интенсифицирует имеющиеся место электрохимические процессы. На рис. 6 показано в сравнительном плане коррозионное воздействие жесткой, умягченной и деминерализованной воды.

Следует иметь в виду, что, несмотря на наличие патентованной системы предотвращения пенообразования (Anti Foaming System, AFS), использование умягченной воды в изотермических увлажнителях всех типов может привести к образованию пены и, в конечном итоге, к сбоям в работе. В результате умягчение воды при водоподготовке в системах увлажнения воздуха имеет не столько самостоятельное значение, сколько служит вспомогательным средством снижения жесткости воды перед ее деминерализацией, широко используемой для обеспечения работы увлажнителей адиабатического типа.

Полифосфатная обработка

Данный метод позволяет на время «связать» соли жесткости, не давая им в течение какого-то времени выпасть в виде накипи. Полифосфаты обладают способностью образовывать связи с кристаллами $CaCO_3$, сохраняя их в состоянии суспензии и, тем самым, приостанавливая

процесс их агрегирования (образование хелатных связей). Однако следует иметь в виду, что данный механизм работоспособен только при температурах, не превышающих 70–75°C. При более высоких температурах имеет место склонность к гидролизу и эффективность метода резко снижается.

Следует иметь в виду, что обработка воды полифосфатами не уменьшает количества растворенных солей, поэтому использование такой воды, как и в предыдущем случае, в изотермических увлажнителях может привести к пенообразованию и, следовательно, к нестабильной их работе.

Магнитное или электрическое кондиционирование

Под действием сильных магнитных полей происходит аллотропная модификация кристаллов солей, ответственных за переменную жесткость, в результате чего соли накипеобразователей превращаются в мелкодисперсный шлам, который не откладывается на поверхностях и не склонен к образованию компактных форм. Сходные явления имеют место при использовании электрических разрядов, снижающих способность выпадающих в осадок солей к их агрегированию. Однако до настоящего времени отсутствуют достаточно надежные данные, касающиеся эффективности работы подобного рода устройств, особенно при высоких температурах близких к точке кипения.

Деминерализация

Рассмотренные выше методы водоподготовки не изменяют количество растворенных в воде химических веществ и, следовательно, не решают полностью возникающих проблем. При работе изотермических увлажнителей они могут уменьшить количество образуемых твердых отложений, что в наибольшей степени относится к методам умягчения воды. Деминерализация, осуществляемая путем извлечения тем или иным способом растворенных в воде веществ, имеет ограниченное действие для изотермических увлажнителей с погружными электродами, поскольку принцип их действия основан на протекании электрического тока в растворе солей. Однако для всех остальных типов увлажнителей воздуха деминерализация является наиболее радикальным способом водоподготовки, особенно это касается увлажнителей воздуха адиабатического типа. Она также может применяться в полной мере для изотермических увлажнителей с электронагревательными элементами и газовых увлажнителей, при использовании которых другие способы водоподготовки, рассмотренные выше, уменьшая количество образуемых твердых отложений, создают сопутствующие проблемы, связанные с увеличением концентрации сильных электролитов при испарении воды.

Одним из негативных моментов, связанных с отсутствием деминерализации воды является образование тонкодисперсного солевого аэрозоля при подаче влаги в обслуживаемые помещения. В наибольшей степени это относится к предприятиям электронной промышленности («чистые» комнаты) и медицинским учреждениям (микрохирургия глаза, акушерство и гинекология). С помощью деминерализации данной проблемы можно полностью избежать, за исключением использования изотермических увлажнителей с погружными электродами. Степень деминерализации обычно оценивается по удельной проводимости, которая приблизительно пропорциональна суммарной концентрации растворенных электролитов в следующих соотношениях (табл. 7).

В природе почти никогда не встречается вода с удельной проводимостью менее 80–100 мкС/см. Ультравысокая деминерализация необходима в исключительных случаях (бактериологические лаборатории, камеры выращивания кристаллов). В большинстве же практических приложений достаточны высокая и очень высокая степени деминерализации. ➤

Рис. 6. Образцы коррозии чугуна

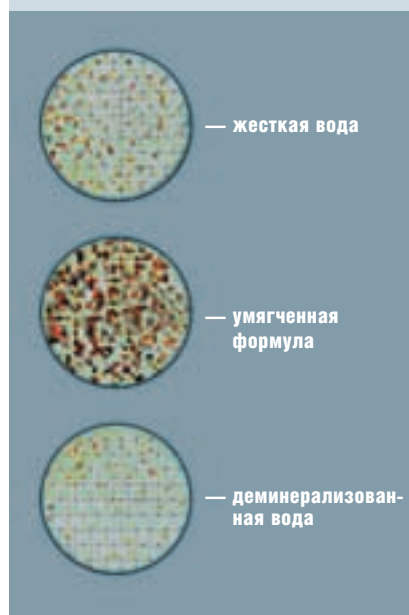


Табл. 7. Оценка степени деминерализации по удельной проводимости

Степень деминерализации	Удельная проводимость, мкС/см	Общее количество растворенных твердых веществ (TDS), суммарная концентрация электролитов, мг/л
Высокая	10	2-5
Очень высокая	1,0	0,2-0,5
Ультравысокая	0,1	0,01-0,02
Теоретически достижимая	0,054	0,00

► Наибольшая степень деминерализации (вплоть до теоретически достижимой) обеспечивается путем дистилляции воды, в т.ч. двойной и тройной. Однако этот процесс является дорогостоящим, как с точки зрения капитальных затрат, так и эксплуатационных расходов. В связи с этим в целях водоподготовки при увлажнении воздуха наибольшее применение получили следующие два метода деминерализации.

Обратный осмос

В соответствии с этим методом вода прокачивается под высоким давлением через полупроницаемую мембрану с порами, имеющими диаметр менее 0,05 мкм. Большинство растворенных ионов фильтруются на мембране. В зависимости от используемой мембраны и других характеристик осуществляемого процесса фильтрации от 90 % до 98 % растворенных в воде ионов удаляются. Достижение более высокой эффективности деминерализации при этом является проблематичной.

Возможность осуществления процесса обратного осмоса полностью автоматически, а также отсутствие необходимости в использовании химических реагентов делают его особо привлекательным в рассматриваемых целях.

Процесс является достаточно экономичным, потребляя электроэнергию в количестве 1–2 кВт·ч на 1 м³ обрабатываемой воды. Стоимость оборудования постоянно снижается в связи с увеличением объема его выпуска за счет постоянного расширения сфер использования.

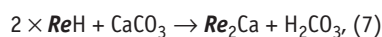
Обратный осмос, однако, уязвим, если обрабатываемая вода является очень жесткой и/или содержит большое количество механических загрязнений. В связи с этим в целях увеличения срока службы используемых мембран зачастую требуется предварительное умягчение воды или ее полифосфатная обработка или магнитное/электрическое кондиционирование и фильтрация.

Деионизация

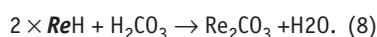
В соответствии с этим методом для удаления растворенных веществ используются слои ионообменных смол (колонки ионитов), которые обладают способностью обменивать ионы водорода на катионы и гидроксильные ионы на анионы растворенных солей.

Катионовые ионообменные смолы (катиониты, полимерные кислоты) обменивают один ион водорода на катион вступающего в контакт со смолой растворенного вещества (например, Na²⁺, Ca²⁺, Al³⁺). Анионные ионообменные смолы (аниониты, полимерные основания) обменивают один гидроксильный ион (гидроксильную группу) на соответствующий анион (например, Cl⁻). Ионы водорода, освобожденные катионитами, и гидроксильные группы, освобожденные анионитами, образуют молекулы воды.

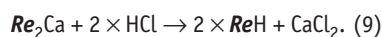
На примере карбоната кальция (CaCO₃) химические реакции выглядят следующим образом, в колонке катионита:



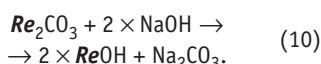
в колонке анионита



По мере расходования ионообменными смолами ионов водорода и/или гидроксильных групп они должны быть подвергнуты процессу регенерации, используя обработку колонки катионита соляной (хлористо-водородной) кислоты:



Колонка анионита обрабатывается гидроокисью натрия (каустической содой):



Процесс регенерации завершается промывкой, которая обеспечивает унос солей, образуемых в результате рассмотренных химических реакций. В современных деминерализаторах поток воды организуется «сверху вниз», что предотвращает разделение гравийного слоя и обеспечивает непрерывную работу установки без ухудшения качества очи-

стки. Кроме того, слой ионита работает как фильтр очистки воды от механических загрязнений.

Эффективность деминерализации данным методом сопоставима с дистилляцией. При этом эксплуатационные расходы, свойственные деионизации, существенно ниже по сравнению с дистилляцией.

Теоретически, вода, деминерализованная рассмотренными методами (обратный осмос, деионизация), является химически нейтральной (pH = 7), но в ней легко растворяются различные вещества, с которыми она впоследствии контактирует. На практике деминерализованная вода является слабокислой благодаря процессу деминерализации как таковому. Указанное происходит в результате того, что остаточные количества ионов и газовых примесей понижают pH. В случае обратного осмоса это объясняется дифференциальной селективностью мембран. В случае деионизации указанные остаточные количества объясняются истощением или нарушением целостности колонок ионитов. В случае повышенной кислотности вода может растворять окислы металлов, открывая путь коррозии. Особенно подверженными коррозии оказываются углеродистая сталь и цинк. Типичным явлением служит, как отмечалось ранее, потеря латунным сплавом цинка. Вода, имеющая удельную проводимость менее 20–30 мкС/см не должна контактировать с углеродистой сталью, цинком и латуной.

В заключение на рис. 7 представлена схема, взаимно увязывающая между собой рассмотренные показатели качества воды, способы увлажнения воздуха и методы водоподготовки.

Для каждого способа увлажнения черные лучи определяют набор показателей качества воды, количественные значения которых должны обеспечиваться в заданных пределах. Цветными лучами определены методы водоподготовки, рекомендуемые при необходимости для каждого из рассмотренных способов увлажнения воздуха. При этом определены приоритеты рекомендуемых методов водоподготовки.

Цветными дугами также с учетом приоритетов определены вспомогательные методы водоподготовки, рекомендуемые для предварительного снижения жесткости воды, подлежащей в дальнейшем обработке методом обратного осмоса.

Наиболее критичным в отношении содержания растворенных в воде солей является ультразвуковой способ увлажнения воздуха (HumiSonic, HSU), для которого приоритетным является применение дистиллята, либо, как минимум, использование деионизации или обратного осмоса. Обязательной является водоподготовка также для атомайзеров, работающих на воде высокого давления (HumiFog, UA). В этом случае удовлетворительные результаты обеспечивает использование обратного осмоса. Возможными являются также более дорогие способы водоподготовки, такие как деионизация и дистилляция. Остальные способы увлажнения воздуха допускают использование водопроводной воды без ее подготовки в случае, если по всему набору специфических показателей качества воды их количественные значения находятся в заданных пределах. В противном случае рекомендуется использовать методы водоподготовки в соответствии с обозначенными приоритетами. Что касается увлажнителей непосредственного действия (UltimateSteam, DS), то они питаются готовым паром и в приведенной на рис. 7 схеме не имеют формальных связей с показателями качества воды и методами водоподготовки. □

Рис. 7. Рекомендуемые методы водоподготовки в системах увлажнения воздуха

