

# Сравнительный анализ систем адиабатического увлажнения воздуха

Возрождение промышленных предприятий отечественной индустрии определяет потребность сооружения новых и реконструкции существующих систем вентиляции и кондиционирования воздуха, содержащих в своем составе средства увлажнения воздуха необходимой производительности. За последнее десятилетие в мировой практике произошли существенные концептуальные изменения в данной области. Широкое распространение получили адиабатические увлажнители распылительного типа (атомайзеры). В статье анализируются их конструктивные особенности в сравнительном плане, а также в сопоставлении с ранее широко распространенными адиабатическими увлажнителями испарительного типа.

## Введение

В целях создания комфортной воздушной среды, а также для обеспечения микроклиматических параметров, отвечающих спецификационным требованиям большинства современных технологических процессов, практически во всех регионах России необходимым является искусственное увлажнение воздуха, главным образом в зимний период. Вопросы оценки дефицита влаги, а также подробная аргументация необходимости увлажнения воздуха при создании комфортных условий и поддержании требуемого уровня влажности на промышленных объектах рассмотрены в работе «Аргументация необходимости увлажнения воздуха и оценка дефицита влаги» [1], которая опубликована также в журнале «С.О.К.» расширенным тиражом [2].

Хотя увлажнение воздуха осуществимо с использованием любого из возможных политропических процессов, при которых увеличивается влагосодержание обрабатываемого воздуха, практически наибольшее применение получили два основных метода увлажнения воздуха: изотермическое и адиабатическое [3].

Изотермическое увлажнение происходит при постоянной температуре ( $T = 0$ ). В воздух непосредственно поступает насыщенный пар. Фазовый переход воды из жидкого в парообразное состояние осуществляется за счет внешних источников тепла, например, выделяемого при прохождении электрического тока через воду, содержащую определенное количество растворенных минеральных солей. Энтальпия<sup>1</sup> образующей при этом водо-воздушной смеси

растет путем увеличения скрытой составляющей тепла. Вместе с тем, при увеличении абсолютного влагосодержания, а, соответственно, и относительной влажности воздуха его температура, характеризующая явную составляющую тепла, остается неизменной.

Адиабатическое увлажнение происходит при постоянной энтальпии ( $Q = 0$ ). Фазовый переход из жидкого в парообразное состояние осуществляется путем свободного испарения воды. При этом имеет место внутренний переход части явного тепла в скрытое тепло. При увеличении абсолютного влагосодержания температура воздуха понижается, в результате чего одновременно с увлажнением происходит ассимиляция теплоизбытков без использования искусственного холода.

Изотермическое увлажнение проще реализуется аппаратно, но обладает большим энергопотреблением, что связано с необходимостью компенсации скрытой теплоты испарения воды в ходе парообразования за счет внешних источников энергии. Генерация 10 кг влаги требует 7,5 кВт·ч потребляемой энергии. Адиабатическое увлажнение является более экономичным, как минимум, на 1–2 порядка, поскольку процесс парообразования в этом случае происходит за счет внутреннего перераспределения энергии, а внешнее энергопотребление связано с реализацией различного рода механизмов значительно менее затратных. В наиболее совершенных системах увлажнения адиабатического типа генерация 10 кг влаги требует всего 0,04 кВт·ч потребляемой энергии. В связи с этим изотермическое увлажнение чаще используется для создания комфортных условий в быту и на объектах коммунального назначения, где дефицит влаги, как правило, не превышает 100–130 кг/ч. Основные ограниче-

ния связаны с потребной величиной установленной мощности, которая в указанных целях практически не может превышать 75–100 кВт. Кроме того, при использовании изотермического увлажнения в целях покрытия более существенных значений дефицита влаги примерно высокими становятся текущие затраты, связанные с повседневным расходом большого количества энергии. В силу указанных обстоятельств на крупных промышленных объектах (цеха текстильного производства, крупные типографии, деревообрабатывающие предприятия и т.п.), где дефицит влаги может достигать 1000 кг/ч и более, используются исключительно адиабатические способы увлажнения.

## Классификация и краткая характеристика адиабатических увлажнителей воздуха

Учитывая актуальные запросы отечественной промышленности, остановимся более подробно на вопросах сравнительного анализа адиабатических способов увлажнения воздуха, среди которых наиболее употребительными являются следующие:

- испарительного типа;
- распылительного типа (воздушно-водяной);
- распылительного типа (водяной).

Принципиальные схемы каждого из указанных способов адиабатического увлажнения воздуха представлены, соответственно, на рис. 1–3.

В увлажнителях испарительного типа воздух прокачивается через панели, заполненные смачиваемой водой насадкой, в результате чего за счет пленочного испарения происходит насыщение воздуха парами воды.

Известны два варианта конструктивного исполнения увлажнителей данного типа:

<sup>1</sup> Энтальпия — функция состояния термодинамической системы, равная сумме внутренней энергии и произведения объема на давление.



Рис. 1. Увлажнитель воздуха испарительного типа

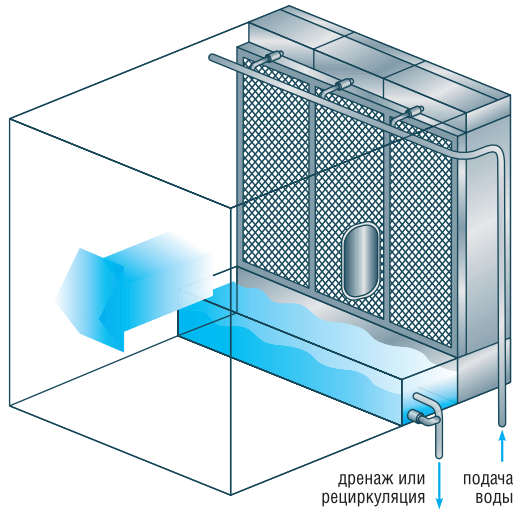
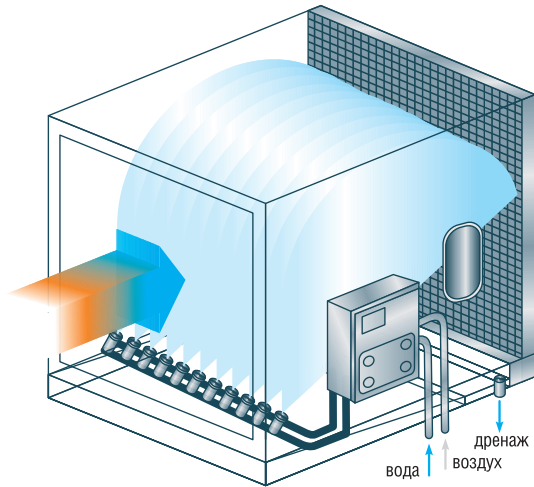


Рис. 2. Увлажнитель воздуха распылительного типа (воздушно-водяной)



- с рециркуляцией воды, что характеризуется опасностью размножения бактерий и последующего распространения инфекционных заболеваний различного типа;
- без рециркуляции, что характеризуется большим расходом воды, которая только в количестве 15–30 % используется по прямому назначению, т.е. испаряется и увлажняет обрабатываемый воздух.

Недостатком увлажнителей испарительного типа является также отсутствие возможности регулирования количества испаряемой влаги с приемлемой точностью.

Увлажнители распылительного типа (воздушно-водяные) осуществляют распыление воды через форсунки, к кото-

рым подводится по отдельным трубопроводам вода и сжатый воздух. Характерным представителем увлажнителей данного типа является атомайзер серии MC производства фирмы CAREL. Благодаря специальной конструкции форсунок вода распыляется в виде мельчайших капель (аэрозоля) диаметром 6–8 микрон, легко абсорбируемых воздухом.

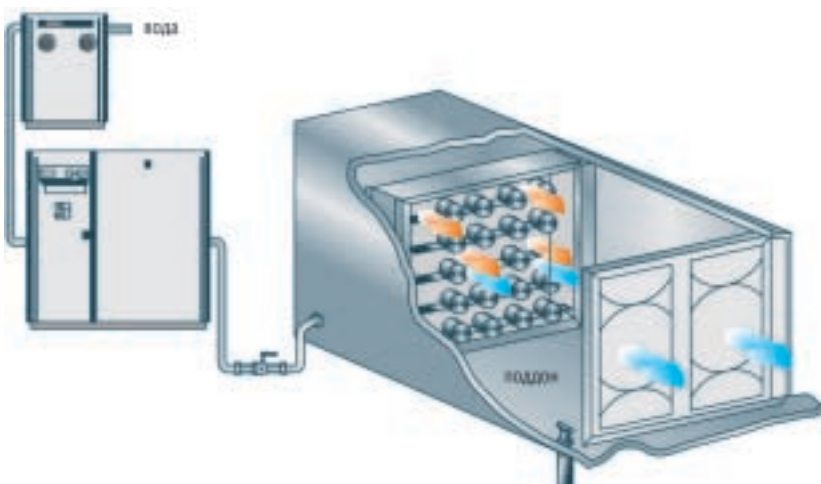
В комплект атомайзера входит шкаф управления, обеспечивающий регулирование рабочего давления по каждой из линий воды и сжатого воздуха, за счет чего обеспечивается изменение количества подаваемой влаги в диапазоне 50–100 % от номинальной производительности агрегата с точностью до достаточной в большинстве практических приложений.

К недостаткам данного типа увлажнителей относится сравнительно большая длина свободного пробега образуемых мельчайших капель воды, распространяющихся в спутном потоке<sup>2</sup> сжатого воздуха. В результате, воздушно-водяные атомайзеры чаще всего используются для объемного увлажнения воздуха непосредственно внутри помещения. Размещение их в составе секции увлажнения центрального кондиционера либо на прямолинейном участке воздуховода связано со значительными габаритами, соответствующими длине свободного пробега распыляемых водяных капель.

Кроме того, данный тип увлажнителей требует наличия на объекте существующей системы сжатого воздуха или установки компрессора необходимого напора и производительности.

Увлажнители воздуха распылительного типа (водяные) относятся к адиабатическим увлажнителям, в которых распыление деминерализованной воды осуществляется без использования системы сжатого воздуха. Характерным представителем увлажнителей данного типа является атомайзер серии humiFog производства фирмы CAREL, который включает в себя шкаф управления, содержащий микропроцессорную систему управления и насос, развивающий давление воды от 20 до 80 бар, а также распределительную стойку с распылительными форсунками, имеющими диаметр сопла 0,15–0,2 мм, что обеспечивает формирование монодисперсного, тонкодисперсного аэрозоля с диаметром капель воды в пределах ▶▶

Рис. 3. Увлажнитель воздуха распылительного типа (водяной)



<sup>2</sup> Спутный поток — поток сжатого воздуха, совпадающий по направлению с потоком распыляемой воды.

10–20 мкм. В связи с отсутствием высокоскоростного спутного потока, создаваемого в случае атомайзеров типа МС за счет истечения сжатого воздуха, атомайзеры типа humiFog характеризуются малой длиной свободного пробега распыляемых капель воды, в результате чего их габаритные размеры в продольном направлении оказываются даже меньше,

чем у увлажнителей испарительного типа. Водяные атомайзеры humiFog используются в составе секции увлажнения центрального кондиционера, либо на прямолинейном участке воздуховода. Положительным качеством является возможность формирования распределительной стойки с заданным поперечным сечением, что обеспечено специальными

программными средствами, по существу дающими возможность с использованием персонального компьютера конструировать и комплектовать указанные стойки, встраиваемые в существующий центральный кондиционер, либо врезаемые в приточный воздуховод. Указанное приобретает особую актуальность при необходимости реконструкции существующих систем кондиционирования и вентиляции без существенных переделок, оставляя годные к дальнейшей эксплуатации узлы и элементы систем. В атомайзерах humiFog для распыления воды используются рубиновые жиклеры с размером сопла 0,15/0,20 мм, обладающие, соответственно, производительностью 2,7 и 3,6 л/ч. Столь малый размер сопла, изготовленного с использованием лазерных технологий, требует использования деминерализованной воды во избежание его закупоривания сухим солевым остатком, что могло бы приводить к сбоям в работе увлажнителя. Деминерализация воды обеспечивается путем предварительной водоподготовки с использованием внешней системы обратного осмоса, осуществляющей в необходимой степени снижение содержания растворенных в воде солей. При использовании дистиллированной воды, что характерно для медицинских учреждений, а также в «чистых» комнатах предприятий электронной промышленности необходимость предварительной водоподготовки отсутствует.

Как воздушно-водяные, так и водяные атомайзеры, в отличие от увлажнителей испарительного типа, используют порядка 90 % воды по прямому назначению. Лишь незначительная часть особо крупных капель подлежит гравитационному осаждению в поддоне, и мелкие капли, не успевшие испариться на протяжении длины их свободного пробега, осаждаются в каплеотбойнике (элиминаторе) за счет эффекта импакции<sup>3</sup>. Таким образом, эффективность использования распыляемой воды в атомайзерах обоих типов составляет около 0,9.

Рис. 4. Схема регулирования производительности увлажнителей воздуха распылительного типа (водяных)

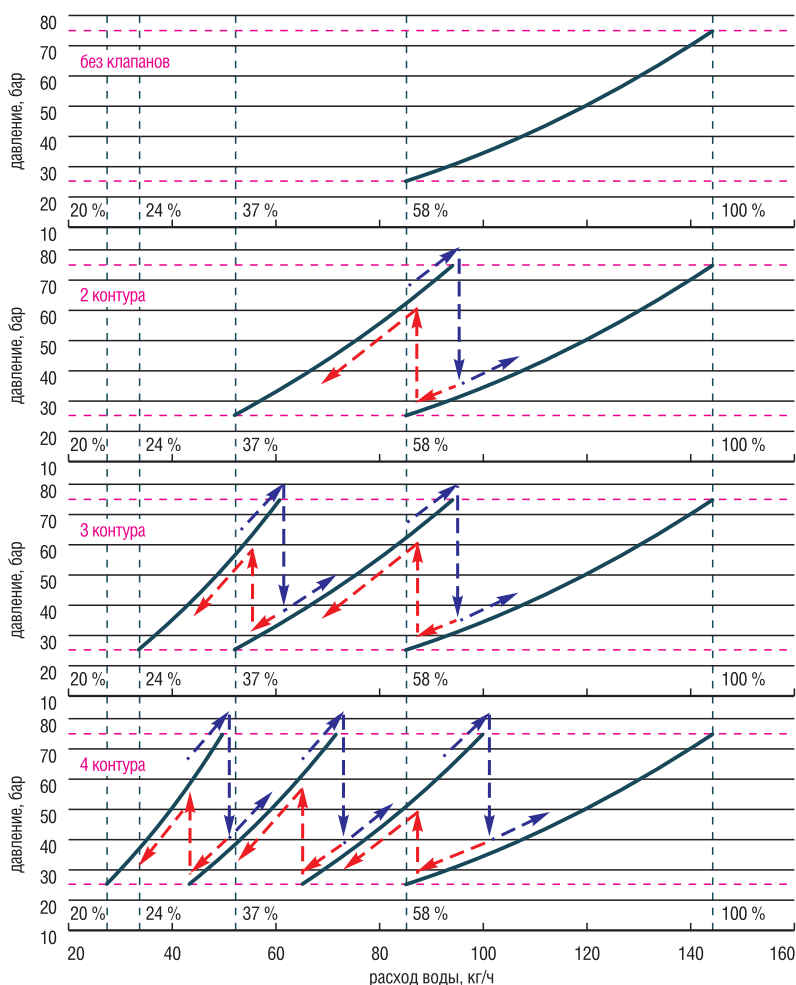
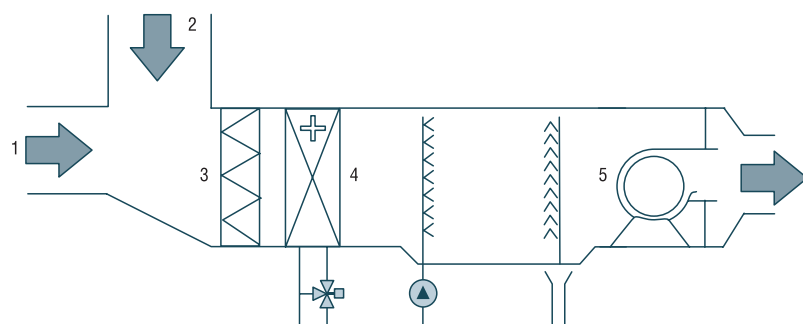


Рис. 5. Конструктивная схема центрального кондиционера с увлажнителем испарительного типа и двухступенчатым нагревом обрабатываемого воздуха

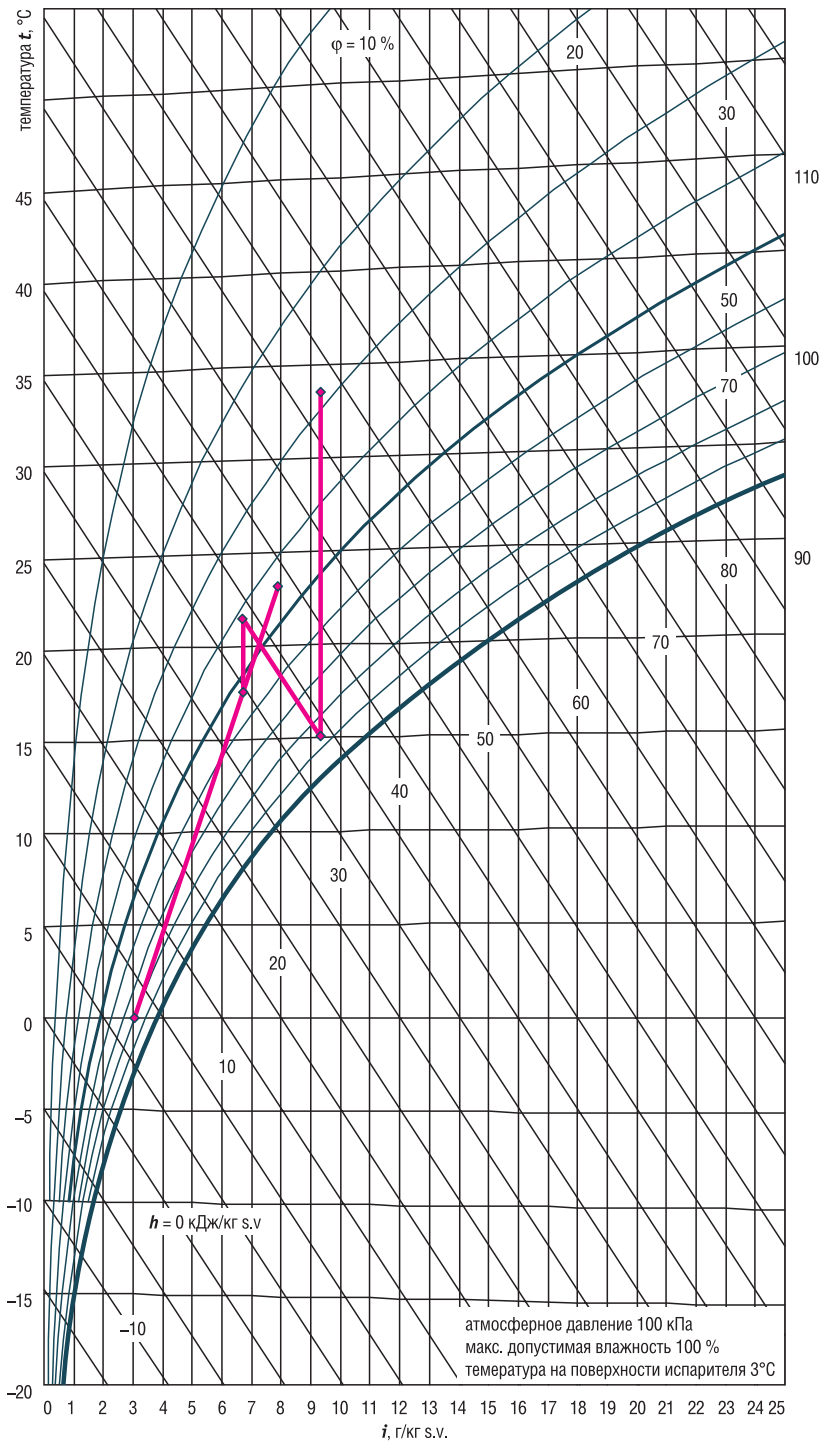


### Обоснование возможности снижения капитальных вложений

Особенностью атомайзера типа humiFog является высокоточное регулирование влажности, достигаемое сочетанием пропорционального управления числом оборотов ротора водяного насоса в пределах от 150 до 1000 мин<sup>-1</sup> и управлением типа ON/OFF системой соленоидных клапанов,

<sup>3</sup> Импакция — инерционное осаждение аэрозольных частиц на препятствиях, вызывающих искривление линий воздушных токов.

**Рис. 6. Результаты расчета тепловлажностных процессов при обработке воздуха в центральном кондиционере с увлажнителем испарительного типа и двухступенчатым нагревом (психрометрическая *id*-диаграмма, диаграмма Молье)**



Температура, $t$ , °C	0,0	23,0	17,3	21,4	15,2	33,0
Влажность, $j$ , %	80%	45%	54%	42%	85%	29%
Влагосодержание, $x$ , г/кг s.v.	3,0	8,0	6,7	6,7	9,3	9,3
Энтальпия, $h$ , кДж/кг s.v.	7,6	43,5	34,5	38,7	38,7	57,0
Плотность, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	1,27	1,17	1,19	1,18	1,20	1,13
Темп. влажн. терм, $t_v$ , °C	-1,1	15,4	12,0	13,7	13,7	19,7
Расход, $V_s$ , м <sup>3</sup> /ч	4,728	15,499	20,227	20,514	20,161	21,407
Расход, $V_n$ , м <sup>3</sup> /ч	5,000	15,000	20,000	20,000	20,000	20,000
Мощность, $P$ , кВт	-	-	-	28,0	0,0	122,1
Влагоприток, $q_w$ , кг/ч	-	-	0,0	0,0	60,4	0,0

подключающих до трех дополнительных распылительных контуров в дополнение к одному основному контуру, включенному постоянно. При наличии двух и более распылительных контуров предусмотрена задержка открытия/закрытия смежных контуров. В целом, при наличии полного состава распылительных контуров (4 шт.) атомайзеры типа *humifog* обеспечивают изменение количества подаваемой влаги в диапазоне 20–100 % от номинальной производительности. Общая схема регулирования представлена на рис. 4.

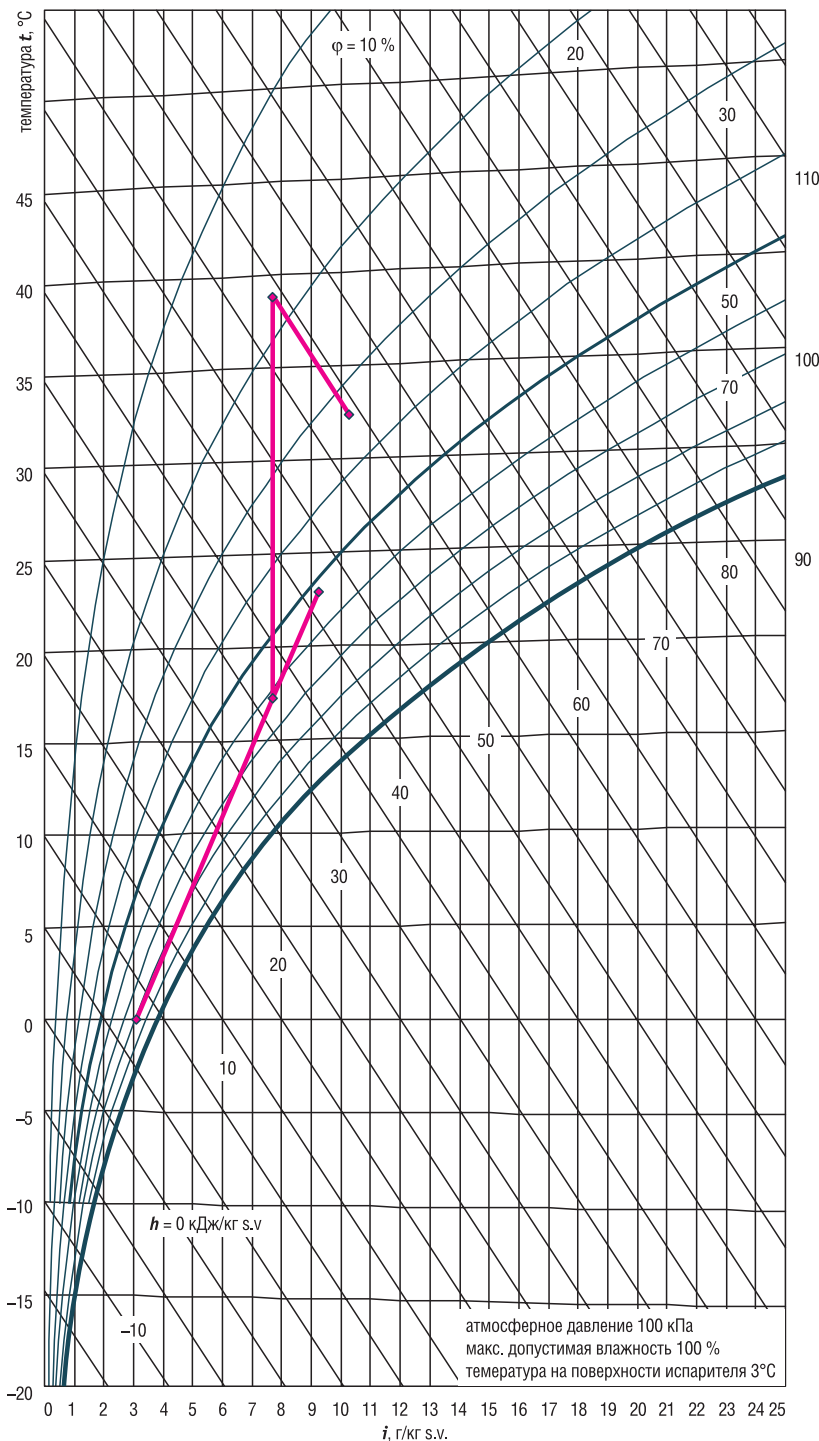
При наличии двух и более распылительных контуров по мере увеличения требуемой производительности увлажнителя, когда пропорционально регулируемый инвертором напор воды достигает максимальной величины, задаваемой соответствующей уставкой, открываются соленоидные клапаны следующего распылительного контура, что при той же производительности увлажнителя позволяет снизить требуемый напор воды, осуществив переход на очередную ступень пропорционального регулирования. В обратном порядке, по мере снижения требуемой производительности увлажнителя, когда пропорционально регулируемый инвертором напор воды достигает минимальной величины, задаваемой соответствующей уставкой, закрываются соленоидные клапаны распылительного контура верхнего из задействованных уровней. Напор воды при этом повышается до необходимого значения.

Возможность точного регулирования влажности в случае применения увлажнителей распылительного типа, поставляемых фирмой CAREL, позволяет отказаться от традиционной двухступенчатой схемы нагрева обрабатываемого воздуха, используемой в случае применения увлажнителей воздуха испарительного типа.

Работа систем с одно- и двухступенчатым нагревом обрабатываемого воздуха иллюстрируется на примере, заимствованном из работы [4]. Общий расход воздуха составляет 20 тыс. м<sup>3</sup>/ч. Из них: свежий воздух подается в количестве 25 % (5 тыс. м<sup>3</sup>/ч) с температурой 0°C и относительной влажностью 80 %; рециркуляция осуществляется в количестве 75 % (15 тыс. м<sup>3</sup>/ч) с температурой 23°C и относительной влажностью 45 %. Воздух, подаваемый в помещение, должен иметь температуру 33°C и относительную влажность 29 %.

Возможны две схемы обработки воздуха. Первая из них (схематично представлена на рис. 5, результаты расчета реализуемых тепловлажностных процессов обработки воздуха — см. рис. 6) ➔

**Рис. 8. Результаты расчета тепловлажностных процессов при обработке воздуха в центральном кондиционере с увлажнителем распылительного типа (атомайзером) (психрометрическая *id*-диаграмма, диаграмма Молье)**



Температура, $t$ , °C	0,0	23,0	17,3	39,0	33,0
Влажность, $j$ , %	80 %	45 %	54 %	15 %	29 %
Влагосодержание, $x$ , g/kg s.v.	3,0	8,0	6,7	6,7	9,1
Энтальпия, $h$ , кДж/кг s.v.	7,6	43,5	34,5	56,7	56,7
Плотность, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	1,27	1,17	1,19	1,11	1,13
Темп. влажн. терм, $t_w$ , °C	-1,1	15,4	12,0	19,6	19,6
Расход, $V_s$ , м <sup>3</sup> /ч	4,728	15,499	20,227	21,740	21,403
Расход, $V_n$ , м <sup>3</sup> /ч	5,000	15,000	20,000	20,000	20,000
Мощность $P$ , kW	-	-	-	148,0	0,0
Влагоприток $q_w$ , kg/h	-	-	0,0	0,0	57,5

с использованием центрального кондиционера, оборудованного увлажнителем испарительного типа и двумя калориферами, осуществляющими предварительный нагрев и доводку микроклиматических параметров. Предусматривается предварительный нагрев воздуха до 21,4°C с последующим увлажнением близким к насыщению водяных паров (относительная влажность — 85 %), контролируемым по расчетной температуре 15,2°C. Калорифер-доводчик осуществляет окончательный подогрев воздуха до требуемой температуры 33°C.

Вторая (альтернативная) схема обработки воздуха с использованием центрального кондиционера, оборудованного увлажнителем распылительного типа и одним калорифером, схематично представлена на рис. 7. Предусматривается нагрев воздуха до расчетной температуры 39°C и последующее его увлажнение с одновременным адиабатическим охлаждением до требуемой температуры 33°C. Результаты расчета реализуемых при этом влажностных процессов обработки воздуха представлены на рис. 8.

С точки зрения капитальных вложений очевидны безусловные преимущества одноступенчатого нагрева воздуха в системах адиабатического увлажнения повышенной точности, характерные для атомайзеров производства фирмы CAREL. Наибольшая точность регулирования свойственна увлажнителям воздуха типа *humifog*. Инвертор, управляющий напором водяного насоса, обеспечивает практически линейное изменение частоты в диапазоне от 0,1 до 50 Гц. Отсюда, например, для увлажнителя номинальной производительностью 60 кг/ч точность регулирования составит:

$$60 \text{ л/час} \times (0,1 \text{ Гц}/50 \text{ Гц}) = 0,12 \text{ л/час.}$$

### Анализ эксплуатационных расходов

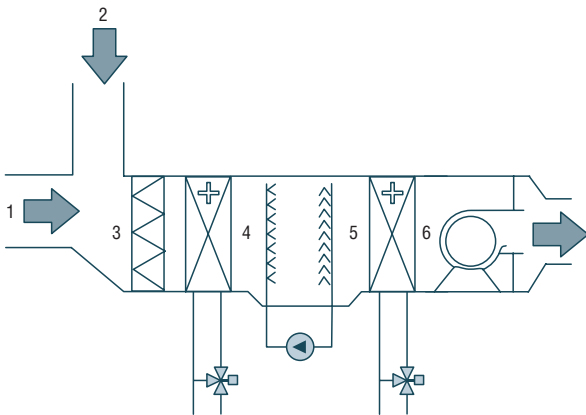
Полученные результаты позволяют также произвести технико-экономическую оценку текущих затрат, связанных с эксплуатацией рассматриваемых систем адиабатического увлажнения воздуха, представленную в табл. 1–4.

В табл. 1 сведены данные по основным компонентам потребления энергии при работе увлажнителей рассматриваемых типов.

Среднее увеличение энтальпии воздуха в анализируемом примере составляет

$$0,5 \times (56,7 - 34,5 + 57 - 34,5) = 22,4 \text{ кДж/кг.}$$

**Рис. 7. Конструктивная схема центрального кондиционера с увлажнителем распылительного типа (атомайзером) и одноступенчатым нагревом обрабатываемого воздуха**



Согласно паспортным характеристикам удельные затраты энергии на распыление воды атомизерами типа *humiFog* составляют 4 Вт·ч/кг и для атомизеров типа *МС* — 110 Вт·ч/кг.

Удельное собственное потребление энергии увлажнителями испарительного типа и дополнительное удельное энергопотребление, связанное с работой побудителя основного воздушного потока (вентилятора) в увлажнителях всех рассматриваемых типов, определялось из расчета расхода воздуха 20 тыс. м<sup>3</sup>/ч.

Для оценки ежегодных затрат на потребляемую энергию использован среднеотпускной тариф АО «Ленэнерго», принятый с 1 января 2004 г., который составляет 0,884 руб/кВт·ч.

Количество воды, распыляемой в течение года, определим по следующей формуле:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{7} \times G_L \times A \times (F_E + K) = \\ & = \frac{7}{7} \times 7004 \times 19,46 = 136\,297 \text{ кг/год.} \end{aligned}$$

где  $G_L$  — число дней в неделю, когда увлажнитель находится в действии (в рассматриваемом примере  $G_L = 7$ );  $F_E$  — весовой расход свежего воздуха (в рассматриваемом примере  $F_E = 4728 \times 1,27 = 6004$  кг/ч);  $K$  — инфильтрация здания, учитывающая поступление воздуха через неплотности в стенах и оконных переплетах (в рассматриваемом примере принята равной 1000 кг/ч);  $A$  — коэффициент, учитывающий годовую потребность в увлажнении воздуха. С физической точки зрения данный коэффициент характеризуется как ежегодное значение потребного количества распыляемой воды на единицу весового расхода воздуха при каждодневном использовании увлажнителя.

В рассматриваемом примере:

$$\begin{aligned} A & = 24 \times 365 \times 0,001 \times (9,2 - 6,7) \times 0,8/0,9 = \\ & = 19,46 \text{ кг влаги/(кг/ч воздуха),} \end{aligned}$$

где 9,2 — среднее из вычисленных значений конечного влагосодержания; 6,7 — исходное влагосодержание обрабатываемого воздуха; 0,8 — коэффициент, учитывающий сезонный характер использования увлажнителя на протяжении года; 0,9 — эффективность использования распыляемой воды. Результаты расчетов сведены в табл. 2.

Помимо затрат на потребляемую электроэнергию, в состав эксплуатационных расходов входят затраты на техническое ►►

**Табл. 1. Энергетические потребления**

Тип потребления	Увлажнители воздуха распылительного типа (атомайзеры)		Увлажнители воздуха испарительного типа	
	Вода под высоким давлением	Вода + сжатый воздух	С рециркуляцией воды	Без рециркуляции воды
Увеличение энтальпии воздуха	22,4 кДж/кг воздуха. Одинаково для всех типов адиабатических увлажнителей с учетом погрешности вычислений			
Собственное потребление увлажнителя	0,004 кВт·ч/кг распыляемой воды	0,11 кВт·ч/кг распыляемой воды (с работающим компрессором)	Рециркуляционный насос: 500 Вт (1000 Вт на 10000 м³/ч свежего воздуха)	Насос с незначительным потреблением энергии
Дополнительное потребление	0,9 кВт (450 Вт на 10000 м³/ч воздуха при потере напора на каплеотбойнике, $\Delta p = 80$ Па)			1,4 кВт (700 Вт на 10000 м³/ч воздуха, при потере напора на увлажняемой насадке, $\Delta p = 120$ Па)

**Табл. 2. Ежегодные затраты на потребляемую энергию**

Тип потребления	Увлажнители воздуха распылительного типа (атомайзеры)		Увлажнители воздуха испарительного типа	
	Вода под высоким давлением	Вода + сжатый воздух	С рециркуляцией воды	Без рециркуляции воды
Нагрев воздуха	Одинаково для всех типов адиабатических увлажнителей			
Собственное потребление увлажнителя	482 руб./год (0,004 кВт·ч/кг × 0,884 руб./кВт·ч × 136 297 кг/год)	13255 руб./год (0,11 кВт·ч/кг × 0,884 руб./кВт·ч × 136 297 кг/год)	2248 руб./год (0,5 кВт × 24 × 365 × 0,8 час/год × 0,884 руб./кВт·ч)	0 руб.
Дополнительное потребление	6969 руб./год (0,9 кВт × 24 × 365 час/год × 0,884 руб./кВт·ч)			10841 руб./год (1,4 кВт × 24 × 365 час/год × 0,884 руб./кВт·ч)

**Табл. 3. Ежегодные затраты на техническое обслуживание (согласно VDI 6022)**

Техническое обслуживание	Увлажнители воздуха распылительного типа (атомайзеры)		Увлажнители воздуха испарительного типа	
	Вода под высоким давлением	Вода + сжатый воздух	С рециркуляцией воды	Без рециркуляции воды
Бактериологические анализы: 2 раза в месяц	не требуются		2 × 12 × 1700 = 40 800 руб./год	
Ежемесячное техобслуживание:	4 часа на один увлажнитель		4 × 12 × 680 = 32 640 руб./год	
Полугодовое техническое обслуживание:	1 час на один увлажнитель		1 × 2 × 680 = 1360 руб./год	
Итого за год	34 000 руб./год		74 800 руб./год	
Увеличение расходов по отношению к базе сравнения	–		+40 800 руб./год	

**Табл. 4. Суммарные эксплуатационные расходы**

Расходы по эксплуатации	Увлажнители воздуха распылительного типа (атомайзеры)		Увлажнители воздуха испарительного типа	
	Вода под высоким давлением	Вода + сжатый воздух	С рециркуляцией воды	Без рециркуляции воды
Потребляемая энергия	–	+12 773 руб./год	+17 66 руб./год	+3390 руб./год
Техническое обслуживание	–	+	40 800 руб./год	+40 800 руб./год
Увеличение расходов по отношению к базе сравнения	–	+12 773 руб./год	+42 566 руб./год	+44 190 руб./год

► обслуживание, которые оценены, ориентируясь на европейский норматив VDI 6022 [5], регламентирующий обязательный объем профилактических работ при работе с увлажнителями воздуха адиабатического типа. Почасовые расценки на указанные работы составляют 20 евро/ч, что согласно действующему курсу валют соответствует ориентировочно 680 руб./ч. Стоимость выполнения бактериологического анализа воды в необходимом объеме согласно европейскому прейскуранту цен на 2004 г. составляет 50 евро, что соответствует ориентировочно 1700 руб. Несмотря на сезонный характер использования увлажнителей, учитываемый коэффициентом 0,8, техническое обслуживание предусматривается в течение всего года.

Результаты расчета ежегодных затрат на техническое обслуживание адиабатических увлажнителей рассматриваемых типов представлены в табл. 3.

Суммарные эксплуатационные расходы, включая затраты на потребляемую электроэнергию и техническое обслуживание, сведены в табл. 4.

## Выводы

**1.** Увлажнители воздуха испарительного типа с рециркуляцией воды не выдерживают критики с позиций современных санитарно-гигиенических требований. В целях обеспечения эффективного пленочного испарения с поверхности смачиваемой насадки температура воды поддерживается в диапазоне температур 25–400°С. При отсутствии дренажа в данных условиях по истечении некоторого времени в воде рециркуляционного контура происходит интенсивная пролиферация бактериальной флоры (легионеллы, вирусы гриппа, неспецифической пневмонии и др.), что может приводить к распространению опасных инфекционных заболеваний.

**2.** Увлажнители воздуха испарительного типа без рециркуляции характеризуются чрезвычайно большим расходом воды, лишь небольшая часть которой используется полезным образом для увлажнения воздуха, подлежащего обработке. При постоянно растущих расценках на водоснабжение это приводит к повышенным эксплуатационным расходам.

**3.** Увлажнители воздуха испарительного типа обоих вариантов (с рециркуляцией и без рециркуляции воды) не обеспечивают регулирование количества испаряемой влаги с приемлемой точностью, в связи с чем необходимым является использование конст-



руктивной схемы центрального кондиционера с двухступенчатым нагревом обрабатываемого воздуха. Это приводит к существенному увеличению капитальных затрат.

**4.** Изложенные выше факты служат основанием того, что фирмы-производители, в настоящее время доминирующие на рынке увлажнителей воздуха, к которым, в частности, относится фирма CAREL S.p.a., вместо ранее широко распространенных увлажнителей испарительного типа сосредоточены на поставках увлажнителей распылительного типа.

**5.** Воздушно-водяные увлажнители распылительного типа (атомайзеры) серии MC оптимальным образом соответствуют задачам объемного увлажнения воздуха непосредственно внутри помещения. Вместе с тем, размещение их в составе секции увлажнения центрального кондиционера, либо на прямолинейном участке воздуховода связано со значительными габаритами, соответствующими длине свободного пробега распыляемых капель воды в спутном потоке сжатого воздуха. Данный тип увлажнителей требует наличия

на объекте существующей системы сжатого воздуха либо установки компрессора необходимого напора и производительности.

**6.** Водяные атомайзеры серии humiFog оптимальным образом соответствуют задачам увлажнения воздуха в составе секций центрального кондиционера, либо на прямолинейном участке воздуховода. Схема конфигурирования распределительных стоек атомайзеров серии humiFog, исходя из заданных размеров поперечного сечения и располагаемой длины в продольном направлении воздушного потока, обеспечивает возможность реконструкции существующих систем кондиционирования и вентиляции без существенных переделок, оставляя годные к дальнейшей эксплуатации узлы и элементы систем. Данный тип увлажнителей при использовании воды нормальной либо повышенной степени жесткости требует наличия водоподготовки с использованием внешних систем обратного осмоса.

**7.** С экономической точки зрения атомайзеры серии humiFog характеризуются минимальными эксплуатационными расходами. □

#### Литература

1. Аргументация необходимости увлажнения воздуха и оценка дефицита влаги. Технический Бюллетень №3, июль-сентябрь 2003 г., стр. 2–5.
2. Е.П. Вишневецкий. Кондиционирование воздуха — увлажнение. Аргументация необходимости увлажнения воздуха и оценка дефицита влаги. журнал «С.О.К.», №10, 2003 г., стр. 48–51.
3. Е.П.Вишневецкий. Компания CAREL — поставщик оборудования для систем увлажнения воздуха. Журнал «АВОК», №4, 1998 г., стр. 40–41.
4. Raul Simonetti. Umidificazione adiabatica di precisione con nebulizzazione di acqua ad alta pressione. Convegno AiCARR «Qualità ambientale e soluzioni sostenibili» Mostra Convegno Expocomfort, Milano, 7–8 marzo, 2002.
5. VDI 6022 — Hygienic standards for ventilation and air-conditioning systems — Offices and assembly rooms.