

Кондиционирование воздуха —

УВЛАЖНЕНИЕ Аргументация необходимости увлажнения воздуха и оценка дефицита влаги

Практически во всех регионах России при нагреве воздуха в зимний период до комнатной температуры 20°C относительная влажность в холодный период при отсутствии искусственного увлажнения становится ниже, чем в пустыне Сахара. Недостаток влаги воздуха не только ухудшает самочувствие людей, но и приводит к нарушениям технологического процесса, снижению качества продукции, увеличению выхода брака и в ряде случаев создает угрозу безопасности обслуживающего персонала.

Создание комфортных условий

Современная жизнь заставляет человека значительную часть суток проводить в помещении, будь то квартира, офис, производственные цеха и т.п. В среднем городские жители более 90% времени находятся внутри зданий, испытывая воздействие искусственной окружающей среды. Создание комфортных условий является залогом здоровья. Если обогрев, вентиляция, освещение и водоснабжение в большинстве случаев обеспечиваются в той или иной степени, то проблема поддержания необходимого уровня влажности в помещениях зачастую решается по остаточному принципу или не решается вовсе. Вместе с тем, фактор влажности играет значительную роль, являясь полноправной составляющей триады основных показателей степени комфорта (температура воздуха — его подвижность — влажность). Математически формализованная взаимосвязь указанных показателей по 6-бальной шкале оценки уровня комфорта определяется международным стандартом ISO 7730 с использованием вычисляемых индексов PMV и PPD. Известно, что человеческое тело на 85% состоит из воды, и поэтому сохранение баланса влажности — одно из основных условий сохранения здоровья и хорошего самочувствия.

Особую роль увлажнение воздуха играет в зимний период, когда, даже при высокой относительной влажности атмосферного воздуха, его абсолютное влагосодержание является, как правило, чрезвычайно низким. Поступая в помещение, воздух нагревается. При этом его абсолютное влагосодержание остается неизменным, а относительная влажность резко падает. Для поддержания относительной влажности на приемлемом уровне требуется искусственное увлажнение воздуха, причем зачастую достаточно интенсивное. Указанное положение наглядным образом иллюстрирует рис. 1.

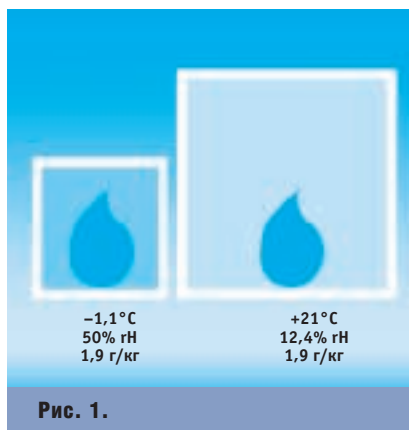


Рис. 1.

Результаты более детальных расчетов представлены на графиках. Используя климатические данные по параметрам «А» и «Б», приведенные в СНиП 2.04.05-91* «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха», произведен расчет дефицита влаги (рис. 2) в помещении, определяющий потребное количество влаги в граммах, которое необходимо добавить каждому килограмму воздуха, поступающему в помещение для достижения заданной влажности при комнатной температуре 20°C.

Актуальность проблемы увлажнения воздуха иллюстрируется графиками относительной влажности в помещениях (рис. 2) в расчете на климатические данные по параметрам «А» и «Б» для некоторых городов России.

Приведенные данные свидетельствуют, что практически во всех регионах России относительная влажность в холодный период при отсутствии искусственного увлажнения опускается существенно ниже регламентируемых значений. Последние составляют в среднем 50–60%. В регионах с резко континентальным климатом при нагреве воздуха в зимний период до комнатной температуры 20°C относительная влажность падает практически до 0%. Для сравнения следует указать, что относительная влажность воздуха в пустыне Сахара не опускается ниже 15%!

Помимо обеспечения комфорта поддержание необходимого уровня влажности является также чрезвычайно важным с санитарно-гигиенической точки зрения. Известно, что бактериальная флора (pneumococcus, staphylococcus, streptococcus) угнетается в 20 раз интенсивнее при относительной влажности воздуха от 45 до 55%, чем при влажности воздуха выше 70% и ниже 20%.

Основные физиологические признаки пониженной влажности воздуха:

- Сухость во рту, постоянное чувство жажды.
- Першение в гортани.
- Воспаление глаз.
- Натирание слизистых оболочек глаз контактными линзами. Поскольку линзы обладают достаточной гигроскопичностью, они поглощают и выделяют влагу с поверхности глаз. Если воздух очень сухой, то линзы быстро высыхают и деформируются. Помимо этого, иссушение поверхности приводит к образованию вязкой пленки, которая мешает веку очищать линзу при моргании. Эта же пленка способствует ускоренному скоплению белков и бактерий, что приводит к инфицированию глаз. Исследования глазных инфекций, возникающих при ношении контактных линз, показывают существенный рост числа этих заболеваний в зимний период.
- Раздражение носовых пазух.
- Потеря эластичности кожи.
- Возникновение экзем, выражающихся в ороговении верхнего слоя кожи, которая становится склонной к воспалению.
- Растрескивание слизистых оболочек губ.
- Учащенные приступы астмы.
- Повышенная инфекционная и респираторная заболеваемость, обусловленные снижением очищающей способности бронхиальной системы, ослаблением защитной функции респираторного эпителия и ослаблением иммунной системы за счет дегидратации организма.
- Носовые кровотечения.

— Хронические мышечные боли и боли в суставах.

— Симптомы недостаточного потребления кислорода (плохая концентрация внимания, быстрая утомляемость).

Основные физические проявления пониженной влажности воздуха:

- Электростатические разряды.
- Расстроенные музыкальные инструменты.
- Трещины на изделиях из дерева (мебель, внутренняя отделка помещений, паркет).
- Повышенная запыленность.
- Высыхание и нарушение электрической изоляции кабелей.

В типографском производстве:

— При потере бумагой влаги она уменьшается в размерах. Это приводит к трудностям при совмещении красок, особенно при печати, использующей несколько прогонов.

— Колебания влажности в течение рабочего дня вынуждают производить частую настройку матричных каландров, что приводит к снижению производительности труда и увеличению простоев дорогостоящего оборудования.

— В стопке края бумаги сохнут гораздо быстрее, чем середина. Это приводит к короблению бумаги и, соответственно, к не-

— Увлажнение обладает сильным охлаждающим эффектом, что позволяет в летний период поддерживать нужную температуру в помещении при минимальных энергетических и капитальных затратах.

На деревообрабатывающих предприятиях:

— При пересыхании древесины происходит образование поверхностных трещин, ее расслаивание, растрескивание и деформирование.

— Пересушенная древесина поглощает растворяющие вещества из лакокрасочных покрытий, в результате чего поверхность становится шероховатой, имеет место потеря глянца.

— Клеевые швы оказываются недолговечными, так как пересушенная древесина впитает растворитель до момента отвердевания клея.

— Необходимо поддержание стабильной влажности воздуха, чтобы древесина сохраняла свои размеры в течение всего производственного цикла.

Фотолаборатории:

— Большинство промышленных фотолабораторий оснащаются системами увлажнения для устранения статического разряда, в результате которого происходит засветка пленки. Это особенно важно при проявлении медицинских рентгеновских снимков.

В квартирах, офисах:

— Рассыхание мебели, отслоение инкрустации, панельной обшивки.

— Накопление и разряды статического электричества, особенно при широком использовании синтетических отделочных материалов.

— Высушенные волокна ковров ломаются от хождения по ним людей, в результате чего происходит преждевременный износ ковров и увеличивается содержание пыли.

На объектах коммунального назначения (музеи, библиотеки, турецкие бани):

— Ввиду высокой стоимости произведений искусства стабильность требуемых параметров окружающей среды играет немаловажную роль при их долгосрочном хранении. Линейные деформации картин приводят к образованию трещин в поверхностном слое. В силу этого многие передвижные выставки заранее оговаривают требуемый уровень влажности в качестве условия открытия выставки.

В электронной промышленности:

— Электростатические заряды при относительной влажности воздуха менее 35% могут накапливаться до опасного уровня, создавая угрозу пробоя диэлектриков, что приводит к серьезным последствиям. ▶

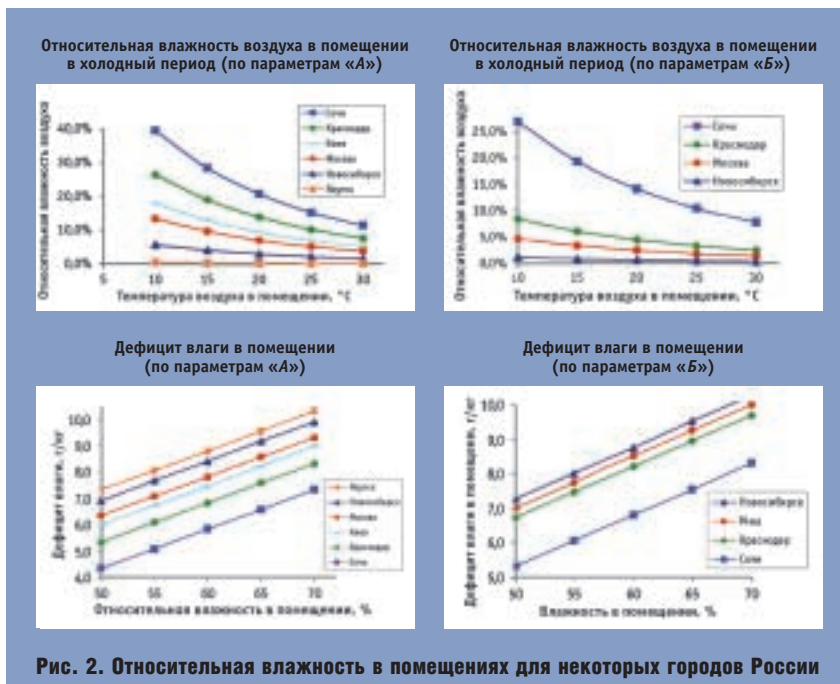


Рис. 2. Относительная влажность в помещениях для некоторых городов России

Поддержание требуемого уровня влажности на промышленных объектах

Необходимость увлажнения воздуха в отдельных отраслях промышленности обуславливается различными причинами.

В текстильной промышленности:

— Пряжа при низкой влажности теряет свою эластичность, становится менее прочной и проявляет склонность к обрывам. При прохождении волокон через ткацкий станок, в случае пересушки они становятся ломкими и рвутся, приводя к простоям, снижению производительности труда и браку, который в ряде случаев достигает десятков процентов. — При обрыве волокон образуется пух, что часто приводит к загрязнению воздушной среды цеха, создавая недопустимую санитарно-гигиеническую обстановку. Особенно остро проблема стоит на хлопкопрядильных фабриках и в цехах по производству асбестовых тканей.

правильной подаче бумаги и образованию складок. Эффективное увлажнение воздуха позволяет устранить эту проблему.

— Статическое электричество, накапливающееся в сухой бумаге, усложняет процессы подборки, сортировки и укладки печатных листов. Эффективное увлажнение воздуха предотвращает накопление статических зарядов, устраняя эти недостатки.

— Сухая бумага ломается на сгибах. — Обрыв сухой бумаги при рулонной печати происходит гораздо чаще. — При использовании инфракрасных или других сушек бумага подвергается большим термическим нагрузкам. Увлажнение воздуха существенно снижает этот эффект. — Эффективное увлажнение воздуха позволяет уменьшить запыленность помещения, тем самым, улучшая качество печати. — Поддержание необходимой влажности способствует снижению расхода краски (чернил), так как слишком сухая бумага поглощает избыточное их количество.

— Эффективное увлажнение воздуха позволяет уменьшить запыленность помещения.

— При производстве микросхем даже незначительное изменение размеров кремниевой пластины при фотомаскировании приводит к недопустимому относительному смещению маски, что является наиболее распространенной причиной брака.

— В «чистых комнатах» критичным является содержание взвешенных в воздухе пылевых частиц. Например, обычное шелушение человеческой кожи в таком помещении может привести к катастрофическим последствиям.

В технологическом процессе точно го литья:

— Объектом внимания здесь служит не конечный продукт, а гигроскопические материалы, используемые в технологическом процессе. В точном литье по выплавляемым моделям, сначала выполняется восковая матрица детали, которую затем погружают в фарфор. Во время сушки и отвердевания фарфора и воска, если воздух будет слишком сухим, то фарфор даст большую усадку, чем воск, и на модели появятся микротрещины.

При заливке жидкий металл повторит все эти трещины и в результате получится отливка, уже неподдающаяся исправлению.

Ракетно-космические технологии:

— На заводах таких компаний, как Boeing, McDonnell Douglas, Hughes Aircraft и Lockheed, регулирование уровня влажности стало первостепенной задачей после внедрения новых технологий «Стелс». Антирадарное покрытие весьма чувствительно к деформациям в процессе сушки, потому что в результате слишком быстрого процесса высыхания верх-

него слоя покрытия образуются трещины, через которые незащищенный металл обнаруживает радиолокационные сигналы.

— Недавняя катастрофа с челночным космическим аппаратом типа спейсшаттл Columbia по возвращении на землю обусловлена потерей нескольких теплозащитных плиток. Согласно одной из версий проблема заключалась в том, что была нарушена технология нанесения клея, используемого для крепления теплозащитных плиток, по причине недостаточной эффективности системы поддержания требуемой влажности в производственном помещении.

Пищевая промышленность (холодильные камеры, сыроварение, винные погреба, хлебопечение):

— Мясо сохраняет естественный цвет без применения нитратов, если его хранить в специальных морозильных камерах с повышенным уровнем влажности.

— Если овощ или фрукт потеряет достаточно много влаги, то клетчатка сморщивается и никакое увлажнение уже не поможет, в связи с чем так важно поддерживать достаточный уровень влажности в местах хранения продуктов.

Сельскохозяйственное производство (теплицы, парники, инкубаторы)

— Яйца теряют до 50% веса в сухой атмосфере, поскольку скорлупа является пористым материалом. В инкубаторах, сухость воздуха приводит к потере до 25% выводка, и, даже после вылупления, интенсивный процесс испарения влаги может привести к переохлаждению и гибели цыплят.

— Сухой воздух нарушает нормальное состояние животных, что отрицательно сказывается на их способности к спариванию.

Оценка дефицита влаги

Оценка дефицита влаги и, соответственно, потребной производительности увлажнения зависит от наличия или отсутствия внутренних источников влаговыделения. В последнем случае расчет производится по следующей формуле.

$$Q_1 = L \times \rho \times (X_{\text{треб}} - X_{\text{атм}}) / 1000, \quad (1)$$

где: Q_1 — дефицит влажности при отсутствии внутренних источников влаговыделения, кг/ч; L — расход воздуха, м³/ч; ρ — плотность воздуха (1,2 кг/м³ при нормальных условиях); $X_{\text{треб}}$ — требуемое влагосодержание, г/кг; $X_{\text{атм}}$ — влагосодержание атмосферного воздуха, г/кг.

При наличии внутренних источников влаговыделений их интенсивность определяется на основе данных инструментальных измерений, используя следующую формулу

$$q = L \times \rho \times (X_{\text{сущ}} - X_{\text{атм}}) / 1000, \quad (2)$$

где: q — внутренние влаговыделения, кг/ч; $X_{\text{сущ}}$ — существующее влагосодержание, г/кг.

Дефицит влажности в данном случае определится следующим образом:

$$Q_2 = Q_1 - q, \quad (3)$$

Подставляя (1) и (2) в (3), имеем

$$Q_2 = L \times \rho \times (X_{\text{треб}} - X_{\text{сущ}}) / 1000, \quad (4)$$

Исходные данные, используемые в приведенных выше формулах, определяются следующими двумя способами:

1. $X_{\text{атм}}$ определяется на основе значений температуры воздуха и удельной энтальпии, которые приводятся в качестве климатических данных по параметрам «А» и «Б» для основных городов России и бывших советских республик в СНиП 2.04.05–91* «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».

2. $X_{\text{треб}}$ и $X_{\text{сущ}}$ определяются на основе значений температуры воздуха и его относительной влажности. $X_{\text{сущ}}$ предполагает проведение соответствующих инструментальных измерений. $X_{\text{треб}}$ основывается на нормативных значениях температуры воздуха и его относительной влажности, которые приводятся в спецификациях и технических условиях на используемое технологическое оборудование, а также в ведомственных требованиях и правилах, регламентирующих инженерное обеспечение соответствующих производств. Вне упомянутых выше производственных сфер, предъявляющих особые требования к поддержанию влажности воздуха, в обычной практике используются

Табл. 1: Результаты расчета допустимого влагосодержания (X) на рабочих местах

Город	Период года	Параметры «А»			Параметры «Б»		
		t, °C	h, кДж/кг	X _{атм} , г/кг	t, °C	h, кДж/кг	X _{атм} , г/кг
Москва	теплый	22,3	49,4	10,6	28,5	54,0	9,9
	холодный	-15,0	-11,7	1,3	-26,0	-25,3	0,3
Санкт-Петербург	теплый	20,6	48,1	10,8	24,8	51,5	10,4
	холодный	-11,0	-8,0	1,2	-26,0	-25,3	0,2

Табл. 2: Результаты расчета влагосодержания для Москвы и Санкт-Петербурга

Период года	Категория работ	t, °C	φ, %	X, г/кг
Холодный	легкая — I а	25	75	15,1
	легкая — I б	24	75	14,2
	средней тяжести — II а	23	75	13,3
	средней тяжести — II б	21	75	11,8
	тяжелая — III	19	75	10,4
Теплый	легкая — I а	28	55	13,3
	легкая — I б	27	60	13,6
	средней тяжести — II а	26	65	13,9
	средней тяжести — II б	25	70	14,1
	тяжелая — III	24	75	15,1

значения температуры воздуха и его относительной влажности, которые в качестве санитарно-гигиенических показателей, обеспечивающих достаточную степень комфорта, содержатся в ГОСТ 30494–96 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата», а также в ГОСТ 12.1.005–88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

Оба указанных способа предварительных вычислений необходимых исходных данных реализуемы графоаналитическим образом с помощью *i-d*-диаграммы. Вместе с тем, *i-d*-диаграмма в ряде случаев не обеспечивает приемлемой точности. В связи с этим ниже приводятся формулы, с использованием которых возможен расчет влагосодержания воздуха обоими способами:

1. Известны температура (t , °С) и удельная энтальпия (h , кДж/кг) воздуха. Требуется определить его влагосодержание (X , г/кг). Простейший расчет производится с использованием следующей формулы:

$$X = \frac{h - t \times C_{pa}}{h_g + t \times C_{pv}} \times 10^3, \quad (5)$$

где: C_{pa} — удельная теплоемкость сухого воздуха при постоянном давлении при 0°С (1 кДж/(кг·°С)); C_{pv} — удельная теплоемкость паров воды при постоянном давлении при 0°С (1,805 кДж/(кг·°С)); h_g — удельная энтальпия насыщенных водяных паров при 0°С (2501 кДж/кг). В качестве примера в табл. 1 приведены результаты расчета для Москвы и Санкт-Петербурга.

2. Известны температура (t , °С) и относительная влажность воздуха (φ , %). Требуется определить его влагосодержание (X , г/кг). Расчет сводится к использованию следующей последовательности формул:

$$X = \frac{M_V \times p_V}{M_A \times (p - p_V)} \times 10^3, \quad (6)$$

где: M_V — молекулярная масса воды (0,01802 кг/моль); M_A — молекулярная масса воздуха (0,02896 кг/моль); p — атмосферное давление (101330 Па на уровне моря); p_V — парциальное давление паров воды, Па.

$$p = p_A + p_V, \quad (7)$$

где: p_A — парциальное давление сухого воздуха, Па.

$$p_V = \varphi \times 10^{-2} \times p_S, \quad (8)$$

где: p_S — давление паров насыщения, Па. При температурах от 0 до +200°С

$$p_S = \exp\left(\frac{a}{T} + b + c \times T + d \times T^2 + e \times T^3 + f \times \ln(T)\right), \quad (9)$$

где: $a = -5,8002206 \times 10^3$;

$b = 1,3914993$;

$c = -4,8640239 \times 10^{-2}$;

$d = 4,1764768 \times 10^{-5}$;

$e = -1,4452093 \times 10^{-8}$;

$f = 6,5459673$;

$T = t + 273,15$

(градусов Кельвина).

Подставляя (7–9) в (6), имеем

$$X = 6,22 \times \varphi \left/ \left[p \times \exp\left(-\frac{a}{T} - b - c \times T - d \times T^2 - e \times T^3 - f \times \ln(T)\right) - 1 \right] \right. . \quad (10)$$

В качестве примера в табл. 2 приведены результаты расчета допустимого влагосодержания на постоянных рабочих местах при выполнении работ различной степени тяжести. \square