

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-балльной 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 иллюстрируется на приведенном ниже рисунке 1.

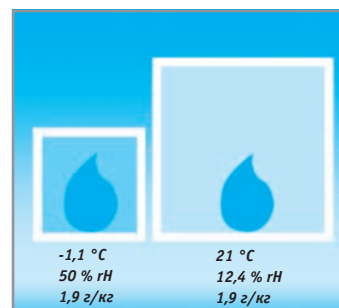
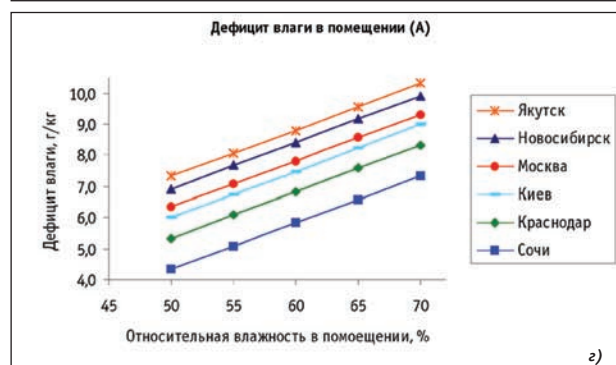
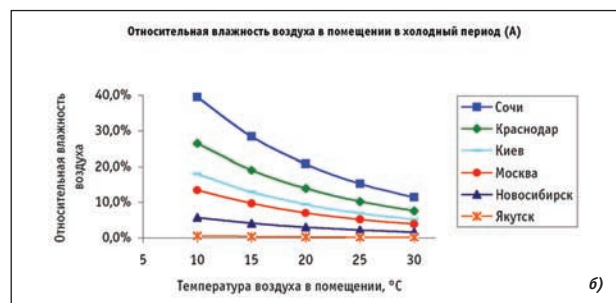
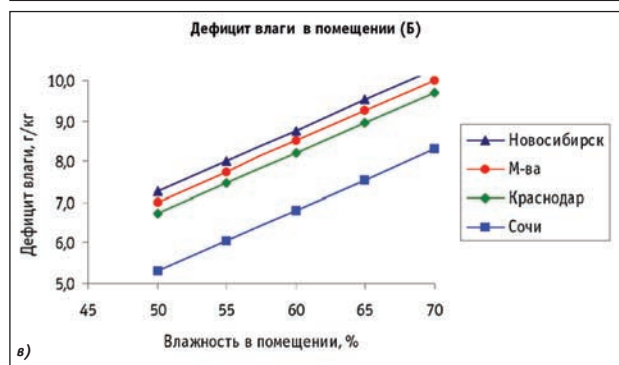
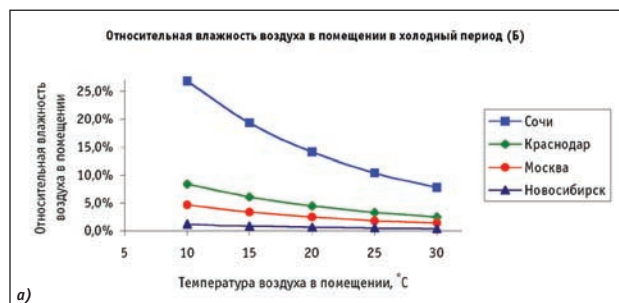


Рис. 1

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 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 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, обусловленная 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.

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.

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 неправильной 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 большему 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.
- 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 оснащается 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):

- 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.
- 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 точного 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 не поддающаяся 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 верхнего слоя покрытия образуются трещины, через которые незащищенный металл отражает радиолокационные сигналы.
- Недавняя катастрофа с челночным космическим аппаратом типа спейс-шаттл 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 даже после вылупления.
- 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 влаговыведения. В последнем случае расчет производится по следующей формуле:

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

где:

- Q_1 - дефицит влажности при отсутствии внутренних источников влаговыведения, 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 влаговыведений их интенсивность определяется на основе данных инструментальных измерений, при помощи следующей формулы:

$$q = L \cdot \rho \cdot (X_{\text{суц}} - X_{\text{атм}}) / 1000 \quad (2)$$

где:

- q - внутренние влаговыведения, кг/ч;
- $X_{\text{суц}}$ - 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

$$Q_2 = L \cdot \rho \cdot (X_{\text{треб}} - X_{\text{суц}}) / 1000 \quad (4)$$

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

- $X_{\text{атм}}$ 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".
- $X_{\text{треб}}$ и $X_{\text{суц}}$ определяются на основе значений температуры воздуха и его относительной влажности. $X_{\text{суц}}$ 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 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 , °C) и удельная энтальпия (h , кДж/кг) воздуха. Требуется определить его влагосодержание (X , г/кг). Простейший расчет производится с использованием следующей формулы:

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

где:

- C_{pa} - удельная теплоемкость сухого воздуха при постоянном давлении при 0°C (1 кДж/(кг °C));
- C_{pv} - удельная теплоемкость паров воды при постоянном давлении при 0°C (1,805 кДж/(кг °C));
- h_g - удельная энтальпия насыщенных водяных паров при 0°C (2501 кДж/кг)

В качестве примера в таблице 1 приведены результаты расчета для Москвы и Санкт-Петербурга.

Таблица 1

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	9,9
	Холодный	-15	-11,7	1,3	-26	-25,3	0,3
Санкт Петербург	Теплый	20,6	48,1	10,8	24,8	51,5	10,4
	Холодный	-11	-8	1,2	-26	-25,3	0,2

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

$$X = \frac{M_v}{M_A} \cdot \frac{P_v}{P - P_v} \cdot 10^3 \quad (6)$$

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.

$$P_v = \varphi \cdot 10^{-2} \cdot P_s \quad (8)$$

где:

- P_s - давление паров насыщения, Па.

При температурах от 0 до 200°C:

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

где:

- $a = -5,8002206 \cdot 10^3$
- $b = 1,3914993$
- $c = -4,8640239 \cdot 10^3$
- $d = 4,1764768 \cdot 10^{-5}$
- $e = -1,4452093 \cdot 10^{-8}$
- $f = 6,5459673$
- $T = t + 273,15$, °K

Подставляя (7-9) в (6), имеем

$$X = \frac{6,22 \cdot \varphi}{a} \cdot \frac{P \cdot \exp \left\{ -\frac{a}{T} - b - c \cdot T - d \cdot T^2 - e \cdot T^3 - f \cdot \ln(T) \right\} - 1}{T} \quad (10)$$

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

Таблица 2

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