



СИСТЕМА КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА НАЦИОНАЛЬНОЙ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ГАЛЕРЕИ В ЙОШКАР-ОЛЕ

Д-р техн. наук **О.Я. КОКОРИН**, МГСУ; канд. техн. наук **Н.В. ТОВАРАС**, ген. директор ООО «НПФ ХИМХОЛОДСЕРВИС»; канд. техн. наук **А.П. ИНЬКОВ**, директор ООО «ЭКОТЕРМ»; канд. техн. наук **М.А. КОЛОСОВ**, доцент МГТУ им. Н.Э.Баумана, ведущий специалист ООО «НПФ ХИМХОЛОДСЕРВИС»

Требования, предъявляемые к системам кондиционирования и вентиляции (СКВ) музеев, хранилищ художественных ценностей и ценной печатной продукции, существенно жестче, чем это характерно для гражданского строительства [1, 2, 9]. Например, отдел художественных музеев Федерального агентства по культуре и кинематографии России предъявляет следующие требования к климатическим условиям в экспозиционных залах таких объектов: температура должна поддерживаться в пределах от 16 до 24 °С при возможном среднесуточном колебании не более 2 °С; влажность – в пределах от 50 до 60 % при возможном среднесуточном колебании не более 2,5 %; подвижность воздуха в помещениях не более 0,3 м/с. Все эти требования должны сочетаться с пожеланиями инвесторов по энергоэффективности, надежности, небольшим капитальным затратам и т.д. Все это ставит перед проектировщиками подобных систем сложные задачи.

Введенная в 2007 г. адаптивная СКВ для экспозиционных залов национальной художественной галереи в г. Йошкар-Ола отвечает всем этим требованиям. За это время она показала эффективную и надежную работу независимо как от погодных условий, так и от степени внутренних нагрузок, связанных с художественными мероприятиями различного направления.

Климатические условия г. Йошкар-Ола характеризуются как умеренно континентальные с длинной холодной зимой и теплым летом, с быстрой сменой внешних условий при прохождении атмосферных фронтов. Средняя температура летом 17,2 °С (наибольшая температура наблюдается в середине июля, когда воздух прогревается до 34...38 °С). Осенью погода холодная и влажная с преобладанием северо-западных ветров, возможны ранние заморозки и снег. Зима, как правило, начинается в ноябре. Средняя температура зимы –11,7 °С. Самый холодный месяц — январь. Весна в целом прохладная и сухая [4].

Новое здание национальной художественной галереи в г. Йошкар-Ола общей площадью 1750,0 м² имеет пять этажей. Два зала суммарной площадью 630 м², находящиеся на втором и третьем этажах галереи, предназначены для экспозиции художественных произведений живописи, графики и т.д. На первом этаже галереи размещаются лекционный зал и гардероб, где достаточно было организовать приточную вентиляцию и поддерживать температуру 20 °С, чтобы обеспечить тепловой комфорт для людей.

Для экспозиционных залов с заказчиком были согласованы специальные климатические условия:

температура должна поддерживаться в пределах от 20 °С зимой до 24 °С летом при относительной влажности воздуха (ОВВ) в пределах 50–60 %. Система должна круглогодично в автоматическом режиме поддерживать эти условия и не допускать их резких скачков, особенно ОВВ. Такие условия гарантируют сохранность художественных ценностей при самых неблагоприятных внешних воздействиях.

Разработанный проект СКВ для экспозиционных залов включал два приточных центральных кондиционера (каждый для своего зала), собранных из агрегатов и блоков СТА фирмы «Вента» [6]. В составе каждого приточного агрегата предусмотрен высокоэффективный блок адиабатного увлажнения производства той же фирмы. Производительность каждого из агрегатов принята на минимально допустимом по санитарным нормам уровне расхода приточного наружного воздуха $V_{\text{пн}} = 5000 \text{ м}^3/\text{ч}$ [5].

Для холодного периода года рассчитывался режим минимальных и максимальных нагрузок в зале. На $i-d$ -диаграмме (рис. 1) выделена область допустимых значений (ОДЗ) параметров в экспозиционных залах в зоне пребывания людей (зоне обслуживания) и построены процессы обработки приточного воздуха.

Расчетный режим минимальных нагрузок в зале, отвечающий условию минимальных нагрузок на СКВ, в зоне обслуживания составляет: температура воздуха 20 °С с ОВВ на нижней допустимой границе $\varphi_{\text{мин}} = 50 \%$, что отвечает влагосодержанию воздуха в зоне обслуживания зала 7,2 г/кг.

На рис. 1 приведено построение обработки наружного воздуха в условиях низких наружных температур (–34 °С) за отопительный период.

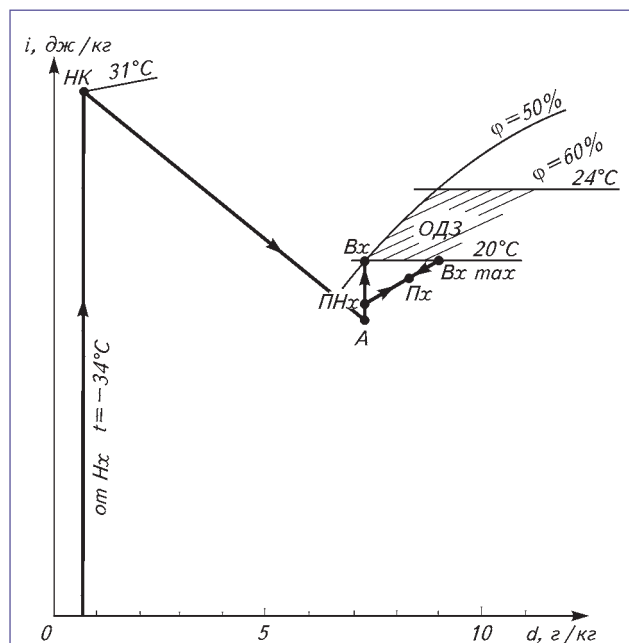


Рис. 1. Процессы обработки воздуха в СКВ картинной галереи в зимний период

При низких температурах наружного воздуха первоначально повышается его влагосодержание до 7,2 г/кг. Для этого наружный воздух нагревается в калорифере до 31 °С (т. НК), что соответствует температуре по мокрому термометру 11 °С, и орошается водой в адиабатном увлажнителе. Причем его температура понижается до 13 °С (т. А), а влагосодержание возрастает до 7,2 г/кг, что обеспечивается блоком адиабатного увлажнения, эффективность которого должна быть не ниже 0,9.

Блок адиабатного увлажнения с такой эффективностью был подобран среди оборудования фирмы «Вента» [6]. Для зимнего и переходного периодов года характерны глубокие скачки параметров (температуры и влажности) наружного воздуха. За счет высокой эффективности аппарата увлажнения обеспечивается малое изменение влагосодержания приготовленного приточного воздуха в широком диапазоне изменений внешних параметров.

Приготовленный в центральных кондиционерах таким образом воздух подается в залы экспозиции на втором и третьем этажах. Вентиляторы, прогрев в которых составляет один градус, нагнетают свежий воздух в распределительную сеть (т. ПНх), по которой он поступает к местным эжекционным доводчикам (ДЭ), расположенным в подоконных нишах на южной стене экспозиционных залов. В ДЭ окончательно регулируются параметры воздуха, который идет в зал. Направления возможного изменения параметров воздуха в ДЭ перед окончательной его подачей в зал находятся между векторами ПНх→Вх и ПНх→Вх max (в зависимости от влаговыделений в зале). Всего в каждом зале размещено по 36 доводчиков (20 выполнены по четырехтрубной схеме, остальные – по двухтрубной).

Температура воздуха в зоне обитания контролируется датчиками, которые настраиваются от центрального компьютера управления в зависимости от изменения наружной температуры. Датчики контроля автоматически меняют расход греющей воды в теплообменнике ДЭ, обеспечивая таким образом тонкую регулировку температуры и влажности в зале.

На рис. 2 показан ДЭ, размещенный под окном. Сохранение архитектурного облика зала экспозиции достигается закрытием ДЭ декоративными панелями, в которых размещены приточные решетки.

Местно-центральная СКВ, реализованная на южном фасаде здания галереи, оснащена отечественными доводчиками модели ДЭ-2-6-150(у) производства компании «Локальные энергосистемы» [1]. Этот эжекционный доводчик предназначен для круглогодичного прецизионного кондиционирования воздуха во внутренних помещениях, имеет централизованное снабжение первичным приточным воздухом (в зависимости от сезона охлажденным или подогретым в центральном кондиционере) и вторичную четырехтрубную систему регулирования температуры,



Рис. 2. Вид ДЭ под окном в помещении галереи

для которой организуется снабжение доводчика тепло- и(или) хладоносителем. Из доводчика приточный воздух поступает в нижнюю зону помещения со скоростью потока не выше 0,3 м/с, что позволяет вытеснять к потолку все вредности, поступающие от людей. Удаление отепленного воздуха производится из верхней зоны помещения. Таким образом, создается комфортный микроклимат в зоне обитания людей, характеризующийся хорошим качеством внутреннего воздуха, и формируются условия для эффективной работы системы вентиляции. Благодаря принципу вытесняющей вентиляции обеспечивается комфортное и экономичное кондиционирование воздуха с низким расходом [1].

На рис. 3 показан принцип работы доводчика. Наружный воздух от приточного кондиционера поступает в камеру первичного воздуха и через сопла диаметром 5 мм со скоростью примерно 14 м/с нагнетается в камеру смешения. Размером сопел обеспечивается расход первичного воздуха в объеме 150 м³/ч. В камере смешения создается разрежение, которое подсасывает (эжектирует) через щель в подоконнике внутренний воздух из помещения. Эжектируемый внутренний воздух поступает от потолочной зоны и проходит по внутренней стороне остекления. В доводчике ДЭ-2-6-150(у) подсасывается 420 м³/ч внутреннего воздуха, что соответствует коэффициенту эжекции $K_j = 2,8$. В зависимости от сезона внутренний воздух нагревается или охлаждается во встроенных теплообменниках.

Зимой в ночные часы в экспозиционных залах нет людей и дополнительных источников теплоты. Через остекление и стены на южной стороне экспозиционных залов трансмиссионные потери составляют примерно 14 кВт. Еще в ночное время требуется при-

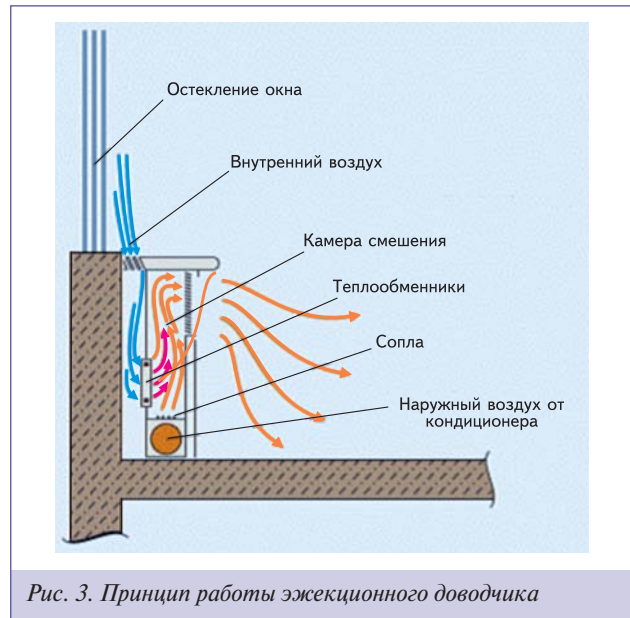


Рис. 3. Принцип работы эжекционного доводчика

мерно 6,7 кВт теплоты для догрева приточного наружного воздуха, поступающего к ДЭ с температурой 14 °С. На северном фасаде нет окон и теплопотери тут значительно меньше. Остальные поверхности помещения граничат с теплыми комнатами и по ним теплопотерь нет.

В этих условиях внутренний воздух из воздушной подушки под потолком подсасывается в доводчики в объеме примерно 10000 м³/ч. При проходе вдоль остекления его температура снижается с 23 до примерно 20 °С, что компенсирует приблизительно 10 кВт внешних теплопотерь. Еще около 6,7 кВт теплоты для подогрева зала теплоносителем подводится к теплообменникам доводчиков. В теплообменниках эжектируемый воздух нагревается и после смешения с приточным воздухом поступает в зал с температурой 21,0 °С. В ночной период этот воздух, охлаждаясь до 20 °С, компенсирует все теплопотери и поддерживает температуру и влажность в зале на требуемом уровне.

В дневные часы в экспозиционных залах работает освещение и присутствуют люди, что вызывает повышение внутренней температуры сверх 20 °С. Датчик температуры в помещении подает команду на плавное сокращение расхода теплоносителя через теплообменники, вплоть до полного их закрытия. Расчеты показали, что влага, поступающая от людей даже в самом напряженном режиме, не выводит параметры внутреннего воздуха за установленные границы. При полном прекращении подачи теплоносителя в камере смешения в ДЭ температура воздуха опустится до 18,4 °С. При такой температуре воздух от ДЭ поглотит примерно 6,7 кВт явных тепловыделений, что соответствует полному тепловому балансу помещений.

За счет вытесняющей вентиляции в сочетании с ДЭ приточный воздух, поступающий в зону обслуживания, увеличивает свою поглотительную способность по влаге, что подробно рассмотрено в работе

[1]. Поэтому приточный воздух, поступая в зону обслуживания, воспринимает примерно 60 % всех тепло- и влаговыделений в помещении. Остальные 40 % вытесняются под потолок, где зимой создается воздушная подушка с температурой 23 °С. Малый перепад температур воздуха по высоте зоны обслуживания (примерно 1,6 °С) создает исключительно комфортные условия для людей и художественных ценностей.

* * *

В теплый период года приточный наружный воздух перед подачей в залы осушается и охлаждается. На рис. 4 в $i-d$ -диаграмме построены расчетные процессы обработки приточного воздуха в СКВ и ДЭ. Конденсационная осушка очищенного в фильтрах воздуха выполняется в воздухоохладителях приточных агрегатов СКВ охлаждением от 25,8 (т. H) до 14 °С (т. OX). Влагосодержание при этом уменьшается до 9,3 г/кг, что позволяет наиболее эффективно поддерживать влажность при вентиляции экспозиционных залов.

Холод для СКВ вырабатывается двумя холодильными агрегатами производства фирмы «Thermocold» [7], размещенными на центральной холодильной станции. Каждый агрегат имеет два рабочих контура на озонобезопасном хладагенте R407C со спиральными компрессорами. В номинальном режиме в них охлаждается хладоноситель с 12 до 7 °С, который поступает к кондиционерам. Ступенчатое регулирование холодопроизводительности в пределах от 100 до 25 % осуществляется последовательной остановкой компрессоров.

После центральных кондиционеров осушенный воздух с ОВВ 90–95 % вентиляторами нагнетается по распределительной сети (т. $ПН$) к ДЭ. В экспозиционных залах автоматически осуществляется окончательное регулирование влажности в пределах 50–60 % и точное регулирование температуры. Для этого на холодильной станции в трехходовом клапане готовится хладоноситель с температурой 14 °С (смешивается хладоноситель с температурой 7 °С и отепленный хладоноситель из зала) и насосом нагнетается к теплообменникам каждого ДЭ.

Внутренний воздух, проходя у поверхности остекления, нагревается до 25 °С и всасывается в ДЭ, где охлаждается в теплообменниках при постоянном влагосодержании (см. рис. 4, процесс $B \rightarrow OX, ДЭ$) и смешивается со свежим приточным воздухом (т. $П$). Система управления климатом по сигналам от датчиков температуры в залах автоматически регулирует подачу хладоносителя к теплообменникам, плавно регулируя охлаждение эжектируемого воздуха. Из ДЭ воздух подается в нижнюю зону зала, обеспечивая, таким образом, механизм вытеснительной вентиляции, при которой из-за расслоения параметров воздуха по высоте зала (за счет вытеснения теплого воздуха к потолку) повышаются влагосодержание

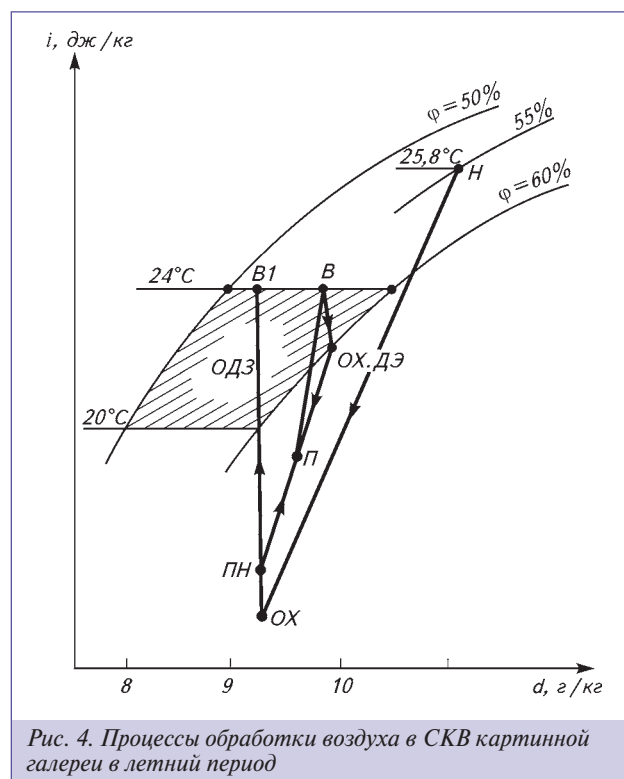


Рис. 4. Процессы обработки воздуха в СКВ картинной галереи в летний период

и температура воздуха в верхней зоне помещения. Повышенное влагосодержание в верхней зоне обеспечивает дополнительную ассимиляцию влаги и тепла приточным воздухом [1].

Летом в отсутствие людей в залы может поступать до 20 кВт тепла с солнечным светом. Как показали расчеты, воздух с параметрами т. $ПН$ при отсутствии влаговыделений в залах наиболее эффективно обеспечивает заданные климатические условия. При максимальном прогреве этого воздуха до температуры 24 °С он обладает максимальной теплоаккумулирующей способностью, а относительная влажность его при этом не опустится ниже минимально допустимой границы 50 %. Система автоматики поддерживает ОВВ в пределах 50–60 %, управляя только дополнительным охлаждением воздуха в ДЭ.

В присутствии людей предельные нагрузки на помещения оцениваются в 27 кВт избыточного тепла и примерно 12,5 кг/ч избыточных влаговыделений от людей. Смесь эжектируемого и приточного воздуха после смешения (см. рис. 4, т. $П$) в этом случае имеет параметры, зависящие от внутренних нагрузок в зале. Диапазон изменения параметров при смешении находится между векторами $ПН \rightarrow B1$ и $ПН \rightarrow B$. В ДЭ готовится воздух с параметрами т. $П$, способный поглотить избытки тепла и влаги, не выходя за пределы разрешенных значений в зоне обслуживания.

При максимальных нагрузках процесс ассимиляции тепла и влаги в зале идет по линии $П \rightarrow B$ (см. рис. 4). При допустимой верхней температуре 24 °С относительная влажность в зоне обслуживания не поднимается выше 60 %. Влажный воздух вытесняется в

верхнюю зону зала, откуда удаляется через вытяжку. Сочетание способности приточного воздуха поглощать избыточное тепло и влагу с вытеснительной схемой вентиляции в зале позволяет эффективно и надежно обеспечивать допустимые условия в экспозиционных залах.

Температура воздуха в зоне обслуживания не превышает 22,5 °С, что обеспечивает тепловой комфорт для людей и отсутствие значительных градиентов температуры по высоте зоны их пребывания, что отвечает требованиям к режиму работы СКВ в залах экспозиции художественных галерей.

Летом в ночные часы, когда температура наружного воздуха по мокрому термометру опускается ниже 13,8 °С, холодильные агрегаты останавливаются и охлаждение воздуха в кондиционерах выполняется только системой адиабатного увлажнения, что позволяет снизить потребление электроэнергии.

Сравнение созданной авторами энергосберегающей СКВ выявляет ее значительные преимущества по сравнению с зарубежными аналогами [8, 9]:

- круглогодичная работа в энергосберегающем режиме; автоматическое обеспечение заданных климатических условий в залах галереи, их стабильность; отсутствие резких скачков температуры и относительной влажности даже при резких изменениях внешних условий; реализация центральными приточно-вытяжными кондиционерами, снабженными

секцией адиабатного охлаждения, контроля, очистки и регулирования подачи свежего и удаления отработанного воздуха;

- высокое качество микроклимата в помещениях при низкой стоимости эксплуатационных затрат на отопление и кондиционирование; применение эффективной вытеснительной системы вентиляции помещений;

- низкая стоимость СКВ, снижающая суммарные капитальные затраты на возведение галереи; ее высокая энергоэффективность; низкие эксплуатационные затраты и экономия энергоресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кокорин О.Я. Энергосберегающие системы кондиционирования воздуха. – М.: «Локальные энергосистемы», 2007. – 256 с.
2. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 30494-96 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».
3. СНиП 2.08.02-89* «Общественные здания и сооружения».
4. СНиП 23-01-99х Строительная климатология – М.: ГУП ЦПП, 2000.
5. СНиП 2.04.05-91 *(изд.1998 г.) «Отопление, вентиляция и кондиционирование».
6. Фирма «Вента». Каталог «Продукция», 2007 [Факс (495) 209-99-45].
7. Фирма «Thermocold» (Италия). Каталог оборудования 2007.
8. Grattan D., Michalski S. Environmental Guidelines for Museums – Temperature and relative Humidity. – London: Butterworths, 2013.
9. Thomson G. The Museum Environment. Scientific Adviser. – London: Butterworths, 2nd ed., 1986.



ХОЛОДОН



**Медные трубы.
Фитинги под пайку.
Теплоизоляция.**



**Хладагенты
R134, R404, R407,
R410, R507, R141b CN.
Масла для холодильной техники.**



**Инструмент для сервиса
и монтажа.
Расходные материалы.
Автоматика.**

Наши адреса:

г. Одинцово, ул. Восточная, д.16, стр.1
г. Казань, ул. Набережная, д.11
г. Ульяновск, Лесной проезд, д.6
г. Набережные Челны, пр-кт им. Мусы Джалиля, д.29/2
г. Йошкар-Ола, ул. Соловьева, д. 18

Москва: +7 (495) 669-30-25
Казань: +7 (843) 512-94-44
Ульяновск: +7 (8422) 27-00-24
Набережные Челны: +7 (8552) 74-74-29
Йошкар-Ола: +7 (8362) 30-44-22

www.holodon.ru