



СКВ для музейных помещений на примере национальной художественной галереи в г. Йошкар-Оле

О. Я. Кокорин, доктор техн. наук, профессор МГСУ

Н. В. Товарас, канд. техн. наук, генеральный директор ООО «НПФ «ХИМХОЛОДСЕРВИС», tovaras@himholod.ru

А. П. Иньков, канд. техн. наук, директор ООО «ЭКОТЕРМ»

М. А. Колосов, канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н. Э. Баумана, ведущий специалист

ООО «НПФ «ХИМХОЛОДСЕРВИС», kolosov@bmstu.ru; kolosov@himholod.ru

Ключевые слова: музей, вентиляция, кондиционирование воздуха, температура воздуха, влажность воздуха, эжекционный доводчик, i-d-диаграмма

*Окончание. Начало читайте
в «АВОК», № 6, 2016.*

Реализация вытесняющей вентиляции и работа СКВ в зимний период

В экспозиционных залах реализована вытесняющая вентиляция. Для этого из эжекционных доводчиков (ДЭ) воздух поступает в нижнюю зону помещения со скоростью потока не более 0,3 м/сек. Загрязненный воздух со всеми вредностями, поступающими от людей, вытесняется к потолку. Удаление загрязненного, нагретого воздуха

производится из верхней зоны помещения. Таким образом, комфортный микроклимат в обслуживаемой зоне, характеризующийся хорошим качеством внутреннего воздуха, создается при низком расходе воздуха, обеспечивая комфортное и экономичное кондиционирование зала.

В ночном режиме работы влаговыведений в помещении нет, тепловлажностное отношение равно нулю, и влажностное содержание воздуха не меняется. Задачей автоматической системы управления СКВ является только поддержание температуры в помещении на нижней границе допустимой зоны. Температура

воздуха в обслуживаемой зоне $t_{вн}$ контролируется датчиками, которые настраиваются от центрального компьютера управления в зависимости от изменения $t_{п}$. Зимой стоит задача подогрева помещений, и для этого к теплообменникам доводчиков подводится горячая вода. Датчики контроля в обслуживаемой зоне помещения автоматически меняют расход греющей воды в теплообменнике индивидуально в каждом доводчике, обеспечивая таким образом тонкую регулировку температуры и влажности в зале.

Зимой теплоступления в экспозиционных залах минимальны,

и СКВ работает следующим образом (см. рис. 2 в «АВОК», №6, 2016). Стрелками из точки Γ_n показаны два направления изменений параметров воздуха в ДЭ перед окончатальной подачей его в зал: в ночном и в дневном режимах работы.

Через остекление и стены на южной стороне фасада возникают основные трансмиссионные теплопотери экспозиционных залов. На северном фасаде нет окон, и теплопотери тут значительно меньше. Остальные стены экспозиционных залов граничат с теплыми комнатами, и на них теплопотерь нет. Максимальные теплопотери будут наблюдаться в ночные часы зимой, когда в экспозиционных залах нет людей и нет дополнительных источников теплоты. Максимальные теплопотери каждого из залов могут достигать примерно 14 кВт.

В ночном режиме работы СКВ зала рециркуляционный воздух в объеме примерно $10000 \text{ м}^3/\text{ч}$ эжектируется ДЭ со стороны внутреннего остекления и из воздушной подушки под потолком. Проходя вдоль остекления внутренний воздух охлаждается с 23 примерно до $20 \text{ }^\circ\text{C}$, что компенсирует примерно 10 кВт внешних теплопотерь. Поэтому в ночном режиме требуется еще примерно 4,0 кВт теплоты для компенсации трансмиссионных теплопотерь и примерно 6,7 кВт теплоты для подогрева приточного наружного воздуха, поступающего к ДЭ с температурой примерно $t_{\text{пн}} = 14 \text{ }^\circ\text{C}$. Суммарная теплопроизводительность всех ДЭ способна покрыть все эти теплопотери.

Во встроеном теплообменнике тепло поступает от горячей воды к рециркуляционному потоку воздуха, нагревая его примерно до $23,5 \text{ }^\circ\text{C}$ (точка Вт, рис. 2). После смешения этого воздуха

с приточным температура смеси составляет примерно $t_{\text{п}} = 21,0 \text{ }^\circ\text{C}$, и воздух с этой температурой поступает в зал. В помещении зала этот воздух охлаждается до $t_{\text{в}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, компенсирует все теплопотери и поддерживает температуру и влажность в зале на требуемом уровне. Теплый воздух вытесняется к потолку, к верхней зоне помещения, где его температура повышается до $+23,0 \text{ }^\circ\text{C}$, и откуда он удаляется вытяжкой.

В дневном режиме, когда в зале присутствуют люди, работает освещение и есть тепlopоступления от приборов, внутренняя температура повышается более $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Датчики температуры в помещении подают команду на сокращение расхода горячей воды через теплообменники, вплоть до полного их закрытия. Такое регулирование температуры позволяет не допускать скачков, и расчеты показали, что максимальное количество влаги от людей, которое может поступить в зал, не выводит параметры внутреннего воздуха за установленные границы. При полном закрытии поступления горячей воды в камеру смешения в ДЭ температура воздуха опустится до $t_{\text{п}} = 18,4 \text{ }^\circ\text{C}$. При такой температуре поток воздуха от ДЭ способен поглотить до 8,7 кВт явных тепловыделений.

За счет использования эжекционных доводчиков в сочетании с вытесняющей вентиляцией приточный воздух, поступающий в обслуживаемую зону, увеличивает свою способность к поглощению теплоты и влаги, что подробно рассмотрено в работах [7–9]. Приточный воздух, поступая в обслуживаемую зону, воспринимает примерно 60 % всех тепло- и влаговыделений в помещении.



С НАМИ КОМФОРТНО

КЛИМАТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- Вентиляционное оборудование
- Кондиционеры
- Чиллеры и фанкойлы
- Увлажнители воздуха
- осушители воздуха
- Системы автоматики



АРКТИКА

СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ, ОТОПЛЕНИЯ
И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Москва, улица Тимирязевская, 1, строение 4.

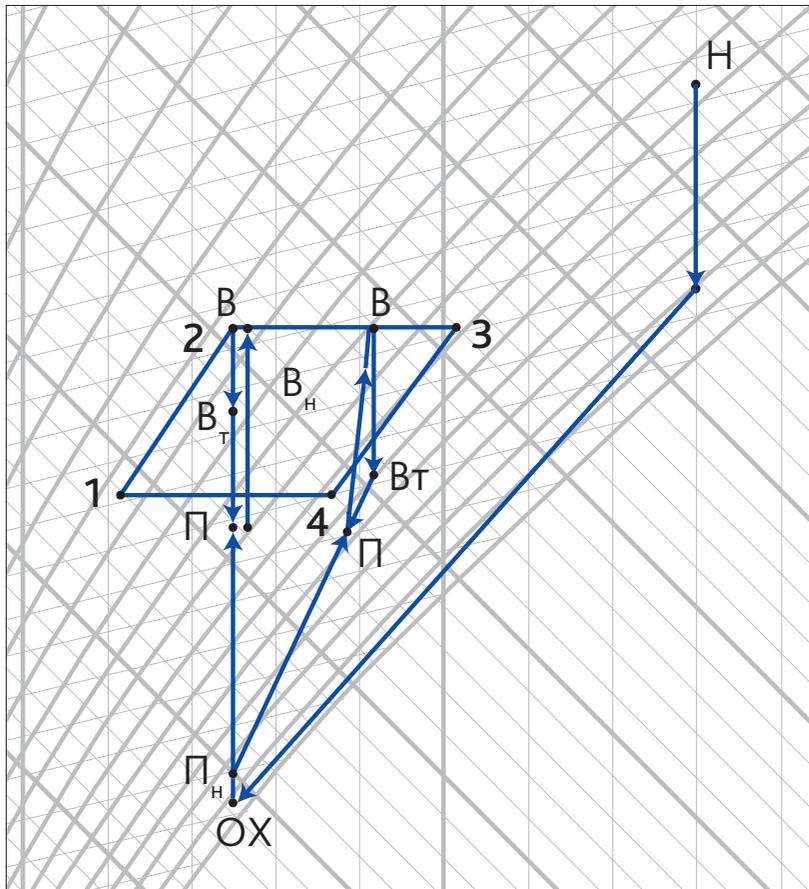
Тел.: (495) 981 1515, (499) 755 1515.

Факс: (495) 981 0117.

Санкт-Петербург, улица Разъезжая, 12, офис 43.

Тел.: (812) 441 3530. Факс: (812) 441 3535.

www.ARKTIKA.ru



■ Рис. 5. i-d диаграмма: построение двух режимов работы СКВ для экспозиционного зала в теплый период года. Обозначение процессов: $H \rightarrow OX$ – охлаждение и осушение санитарной нормы приточного наружного воздуха в воздухоохладителе приточного агрегата; $OX \rightarrow П_n$ – нагрев в вентиляторе и воздуховодах; $B \rightarrow B_T$ – охлаждение рециркуляционного потока воздуха в теплообменнике ДЭ; $П_n \rightarrow П \leftarrow B_T$ – смешение потоков в ДЭ; $П \rightarrow B$ – поглощение влаго- и тепловыделений в зоне обслуживания, нахождения людей, трансформация параметров воздуха в «ночном» и «дневном» режимах работы СКВ; $B \rightarrow У$ – поглощение влаго- и тепловыделений под потолком зала

Остальные 40 % тепло- и влагопоступлений от людей вытесняются под потолок, где зимой создается воздушная подушка с температурой 23 °С.

Малый перепад температуры воздуха по высоте обслуживаемой зоны (примерно 1,6 °С) и тонкое регулирование t_v и ϕ_v создают необходимые условия для сохранения художественных произведений и ценностей, находящихся в экспозиционных залах, и исключительно комфортные условия для посетителей.

Расчет СКВ в летний период

В летнем периоде эксплуатации СКВ экспозиционных залов расчет нагрузок на аппараты центрального кондиционера и выбор холодильных машин также выполнялись из условия 100 % обеспеченности, т.е. проектирование этих систем производилось на экстремальные расчетные условия:

- абсолютная максимальная температура $t_{n,max} = +39,0$ °С;

- влажность $\phi_{n,max} = 73$ %, что соответствует влагосодержанию $d_{n,max} = 33,0$ г/кг и энтальпии $i_{n,max} = 124,1$ кДж/кг.

После проектирования СКВ, выбора аппаратов и уточнения их характеристик выполнялась проверка работы системы при средних расчетных параметрах наружного воздуха в двух режимах: для ночного, когда в помещении нет влаговывделений (нет людей) и ограничены тепловые нагрузки, и для дневного, когда в экспозиционном зале максимум посетителей, т.е. максимум влаговывделений и максимальные внутренние и внешние тепlopоступления в помещение.

Средние расчетные параметры наружного воздуха для летнего периода в Йошкар-Оле составляют [6]:

- средняя температура $t_{n,cp} = +25,8$ °С;
- средняя относительная влажность $\phi_{n,cp} = 55$ %, что соответствует влагосодержанию $d_{n,cp} = 12,0$ г/кг и энтальпии $i_{n,cp} = 55$ кДж/кг.

На рис. 5 приведена i-d диаграмма влажного воздуха. Процессы обработки приточного воздуха для экспозиционного зала в центральном кондиционере и ДЭ построены для отдельного режима (рис. 5, точка H). В теплый период года приточный наружный воздух перед подачей в зал очищается в фильтрах, охлаждается и осушается в центральном кондиционере.

За счет охлаждения воздуха в секции воздухоохладителя (см. рис. 5, процесс $H \rightarrow OX$) до температуры +14,0 °С выполняется конденсационная осушка воздуха до необходимой степени влажности, влагосодержание при этом уменьшается до 9,3 г/кг, т.е. до величины, позволяющей

наиболее эффективно поддерживать влажность при вентиляции экспозиционных залов. Необходимый для работы секции осушки холод к воздухоохладителям кондиционеров поступает от холодильных агрегатов с хладоносителем, начальная температура которого $+7,0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

После центрального кондиционера холодный осушенный воздух (точка Π_n), относительная влажность которого $\varphi_{\Pi_n} = 90\div 95\%$, влагосодержание примерно $d_{\Pi_n} = 9,3\text{ г/кг}$ вентиляторами нагнетается по распределительной сети к ДЭ в зале. Воздух с такими параметрами летом способен наиболее эффективно поддерживать тепловой и влажностный баланс в экспозиционных залах галереи.

Окончательное регулирование влажности воздуха в помещениях строго в пределах $50\div 60\%$ и точное регулирование температуры в пределах $t_{\text{вн}} = +20,0\div 24,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ осуществляются в экспозиционных залах системой автоматического управления по сигналам от датчиков температуры и влажности, размещенных в залах. Температура в залах регулируется приточным холодным воздухом от кондиционеров и дополнительным охлаждением рециркуляционного потока внутреннего воздуха во встроенных теплообменниках ДЭ.

Для этого ко всем четырехтрубным ДЭ от холодильной станции подводится хладоноситель – дистиллированная вода – с температурой $+14,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура хладоносителя автоматически поддерживается на холодильной станции смешением холодной воды при температуре $t_{\text{вх}1} = +7,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ от холодильной машины и с отепленной водой из зала. Смешение



выполняется в трехходовом вентиле, обеспечивающем после себя хладоноситель с температурой $t_{\text{вх}} = +14,0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Летом в ночном режиме работы СКВ и когда в залах нет людей, в помещение поступает до 20 кВт тепла через стены и с солнечным светом. Как показали расчеты, воздух с параметрами в точке Π_n , при отсутствии влаговыделений в залах, наиболее эффективно обеспечивает заданные климатические условия. При максимальном прогреве этого воздуха до температуры $+24,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ он обладает максимальной теплоаккумулирующей способностью, а относительная влажность его при этом не опустится ниже минимально допустимой границы 50% . Система автоматики поддерживает относительную влажность в пределах $50\div 60\%$, управляя только дополнительным охлаждением воздуха в ДЭ.

В этом режиме внутренний воздух, проходя у поверхности остекления, нагревается примерно до температуры $+25,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и эжектируется в ДЭ, где охлаждается в теплообменниках при постоянном влагосодержании (рис. 5, процесс $B \rightarrow B_T$). После этого он смешивается со свежим приточным воздухом (точка Π), температура которого $t_{\Pi} = +15,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Система управления

климатом по сигналам от датчиков температуры и влажности в залах автоматически регулирует подачу хладоносителя к теплообменникам, плавно изменяя температуру эжектируемого воздуха в точке B_T .

Из ДЭ воздух в состоянии т. Π подается в нижнюю зону зала, обеспечивая, таким образом, механизм вытесняющей вентиляции. При этом за счет расслоения параметров воздуха, за счет диффузии и конвекции влаги и теплоты по высоте зала, за счет вытеснения теплого воздуха к потолку повышаются влагосодержание и температура воздуха в верхней зоне помещения. Повышенное влагосодержание в верхней зоне обеспечивает дополнительную ассимиляцию влаги и тепла в расчете на единицу приточного воздуха.

В дневном режиме работы СКВ в помещениях присутствуют люди и возрастают теплопритоки. Предельные нагрузки на зал оцениваются в 27 кВт избыточного тепла и примерно 12,5 кг/ч избыточных влаговыделений от людей. Смесь инжектируемого и приточного воздуха (см. рис. 5, точка Π) в этом случае имеет параметры, зависящие от внутренних нагрузок в зале. Процессы изменения параметров приточного и рециркуляционного воздуха при

смешении показаны на рис. 5. В эжекционных доводчиках готовится воздух с параметрами точки *Л*, способный поглотить избытки тепла и влаги, не выходя за пределы разрешенных значений в обслуживаемой зоне.

При максимальных нагрузках процесс ассимиляции тепла и влаги в зале идет от состояния т. *Л* к границе зоны допустимых параметров в т. *З* (см. рис. 5). В этом случае при допустимой верхней температуре +24,0 °С относительная влажность в обслуживаемой зоне не поднимается выше 60%. Влажный воздух вытесняется в верхнюю зону зала, откуда он удаляется через вытяжку. Способность приточного воздуха поглощать избыточное тепло и влагу в сочетании с вытесняющей схемой вентиляции в зале позволяет эффективно и надежно обеспечивать допустимые условия в экспозиционных залах.

Как показал опыт эксплуатации залов, даже при экстремальных внешних условиях температура воздуха в обслуживаемой зоне не поднимается выше +22,5 °С. Таким образом обеспечиваются тепловой комфорт для людей и отсутствие заметного градиента температуры по высоте обслуживаемой зоны (зоны пребывания людей), что отвечает требованиям к режиму работы СКВ в залах экспозиции художественных галерей.

В теплый период года в ночные часы, когда температура наружного воздуха по мокрому термометру может опускаться ниже 13,8 °С, можно остановить холодильные агрегаты, а охлаждение воздуха в кондиционерах выполнять только за счет адиабатного увлажнения, что позволяет несколько снизить потребление электроэнергии.

Сравнение созданной авторами энергосберегающей СКВ с зарубежными аналогами [10–12] показывает значительные преимущества по созданию требуемых параметров воздуха в обслуживаемой зоне, в условиях изменения тепло- и влаговыделений в помещении.

Преимущества разработанной энергосберегающей СКВ для музейных помещений:

- возможность круглогодичной работы в энергосберегающем режиме, обеспеченная применением адиабатного охлаждения и эффективной системы вытесняющей вентиляции;
- вытесняющая вентиляция обеспечивает комфортное и экономичное кондиционирование воздуха при низком расходе воздуха, высокое качество микроклимата в помещениях, низкий градиент температуры по высоте обслуживаемой зоны;
- автоматическое обеспечение заданных климатических условий в залах, их стабильность, отсутствие резких скачков температуры и относительной влажности даже при резких изменениях внешних условий. Контроль, очистка и регулирование подачи свежего и удаление отработанного воздуха выполняются центральными приточно-вытяжными кондиционерами, снабженными секцией адиабатного охлаждения;
- низкая стоимость эксплуатационных затрат на отопление и кондиционирование;
- низкая стоимость СКВ способствует снижению суммарных капитальных затрат, а ее высокая энергоэффективность позволяет снизить эксплуатационные затраты и экономить энергоресурсы.

Литература

1. Thomson G. The Museum Environment. Scientific Adviser. 2nd ed. – London: Butterworths, 1986.
2. Технология, исследование и хранение произведений станковой и настенной живописи / Под ред. Ю. И. Гренберга. – М.: Изобразительное искусство, 1987.
3. СНиП 2.08.02–89* «Общественные здания и сооружения». – М., 1989.
4. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 30494–96 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях». – М., 1996.
5. СНиП 2.04.05–91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование». – М.: ГУП ЦПП, 1998.
6. СНиП 23-01–99 «Строительная климатология». – М.: ГУП ЦПП, 2000.
7. Кокорин О. Я. Энергосберегающие системы кондиционирования воздуха. – М.: Локальные энергосистемы, 2007.
8. Кокорин О. Я. Энергосбережение в системах отопления, вентиляции, кондиционирования. – М. М.: АСВ, 2013.
9. Кокорин О. Я., Колосов М. А., Егоров К. С. Особенности системы вентиляции Большого зала Московской государственной консерватории им. П. И. Чайковского // АВОК. – 2013. – № 2. – С. 50–57; – № 3. – С. 14–20.
10. Материалы сайта «The National Gallery, Trafalgar Square, London». URL: <http://www.nationalgallery.org.uk/paintings/>
11. Grattan D., Michalski St. Environmental Guidelines for Museums – Temperature and relative Humidity. – London: Butterworths, 2013.
12. Шляхтина Л. М. Основы музейного дела. Теория и практика: учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 2005. ■