

# 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](mailto: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](mailto:kolosov@bmstu.ru); [kolosov@himholod.ru](mailto:kolosov@himholod.ru)

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

Системы кондиционирования и вентиляции (СКВ) музеев, хранилищ художественных ценностей и продукции из бумаги, тканей и дерева проектируются по существенно более жестким требованиям [1, 2], чем это характерно для гражданского строительства [3–5]. 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 двух градусов; влажность – в пределах от 50 до 60 % при возможном среднесуточном колебании не более 2,5 %; подвижность воздуха в помещениях не более 0,3 м/сек и т. п. 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 году адаптивная СКВ для экспозиционных залов национальной художественной галереи в г. Йошкар-Оле отвечает всем этим требованиям. За время эксплуатации она показала эффективную и надежную работу независимо как от погодных условий, так и от степени внутренних нагрузок, связанных с художественными мероприятиями различного направления.

## Информация о галерее

Новое здание национальной художественной галереи в Йошкар-Оле (рис. 1) располагается в пятиэтажном здании с подвалом, полезная площадь внутренних помещений здания составляет 1747,5 м<sup>2</sup>. Два экспозиционных зала суммарной площадью 630,0 м<sup>2</sup> находятся на втором и третьем этажах галереи и предназначены для экспозиции произведений живописи, графики и изделий художественно-декоративных промыслов. Остальные помещения занимают административные и технические службы.

В подвале галереи находятся технические помещения, здесь же расположены центральные кондиционеры. Для круглогодичного регулирования температуры и воздухообмена в подвальном помещении установлены восемь эжекционных доводчиков (ДЭ) суммарной производительностью 1200 м<sup>3</sup>/ч свежего воздуха.

На первом этаже галереи находятся лекционный зал, административные помещения и гардероб, где воздухообмен и тепловой комфорт для людей обеспечиваются при минимуме санитарной нормы приточной вентиляцией. Для этого на этаже размещены 16 ДЭ, подающих свежий наружный воздух и поддерживающих температуру на уровне не ниже +20 °С зимой и не выше +26 °С летом.

Для экспозиционных залов на втором и третьем этажах с заказчиком (администрацией Йошкар-Олы) были согласованы специальные технические условия, отвечающие самым строгим стандартам, предъявляемым к музейным помещениям: температура в пределах от 20 °С зимой



■ Рис. 1. Вид южного фасада здания государственной галереи в Йошкар-Оле

до 24 °С летом и относительная влажность воздуха в пределах от 50 до 60%. СКВ этих залов должны круглогодично в автоматическом режиме поддерживать назначенные параметры воздуха и не допускать их резких скачков, особенно влажности. Такие условия гарантируют сохранность художественных ценностей при самых неблагоприятных внешних воздействиях.

Основным элементом СКВ каждого из экспозиционных залов является приточно-вытяжной центральный кондиционер производительностью  $V_{\text{пн}} = 5000,0$  м<sup>3</sup>/ч наружного воздуха, что гарантирует выполнение санитарных норм по подаче свежего воздуха в эти помещения. В составе каждого приточного агрегата предусмотрены: системы рекуперации тепла вытяжного воздуха, высокоэффективный блок адиабатного увлажнения, подогрева и охлаждения, блок конденсационной осушки, фильтрации, регулирования и обеззараживания приточного воздуха. Воздух, подготовленный в кондиционерах,

поступает к эжекционным доводчикам в экспозиционных залах. В каждом зале размещены по 24 четырехтрубных ДЭ и четыре двухтрубных ДЭ, в которых выполняется окончательная обработка воздуха перед подачей его в зал.

На четвертом этаже расположены административные помещения и мастерские, в которых размещены 16 четырехтрубных ДЭ, обеспечивающих воздухообмен и регулирующих внутреннюю температуру в помещениях зимой и летом.

Пятый этаж занимают технические помещения и центральная холодильная станция, где размещены два холодильных агрегата с номинальной холодопроизводительностью по 180 кВт. Каждый агрегат имеет два рабочих контура с двумя спиральными компрессорами в каждом контуре. Холодопроизводительность регулируется ступенчато в пределах от 100 до 25% с последовательной остановкой компрессоров. Агрегаты заправлены озонобезопасным фреоном R407с и охлаждают

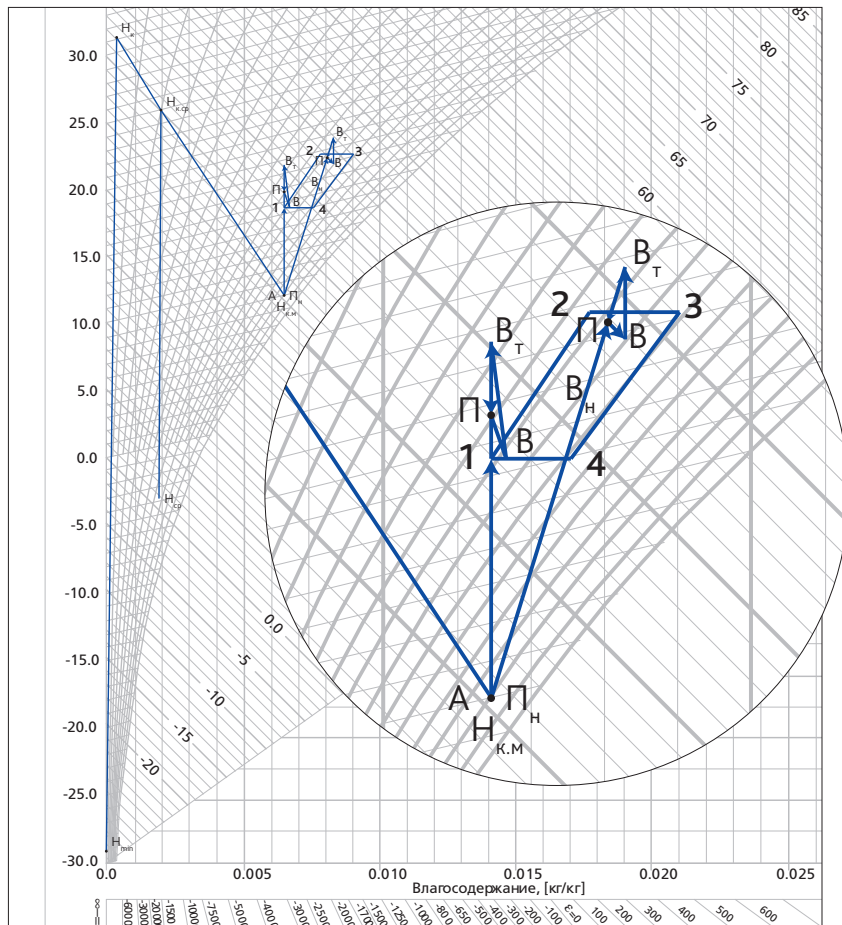


Рис. 2. *i-d*-диаграмма: построение двух режимов работы СКВ для экспозиционного зала в холодный и переходный периоды года. Обозначение процессов:  $H_{\min}(H_{\text{ср}}) \rightarrow H_k(H_{\text{к.ср}})$  – нагрев санитарной нормы приточного наружного воздуха при минимальной (средней) температуре наружного воздуха;  $H_k(H_{\text{к.ср}}) \rightarrow A$  – адиабатное увлажнение, протекающее по изохральной;  $A \rightarrow P_n$  – нагрев в вентиляторе и воздуховодах;  $B \rightarrow B_T$  – нагрев эжектируемого воздуха в теплообменнике ДЭ;  $P_n \rightarrow P \leftarrow B_T$  – смешение приточного и рециркуляционного потоков воздуха в ДЭ;  $P \rightarrow B$  – трансформация параметров воздуха в обслуживаемой зоне

хладоноситель, в качестве которого используется чистая вода с присадкой ингибиторов, с +12 до +7 °С. Хладоноситель поступает к центральным кондиционерам и эжекционным доводчикам.

## Климатические условия

Климатические условия Йошкар-Олы 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 +38 °С. Осенью погода холодная и влажная, с быстрой сменой наружных условий, возможны ранние заморозки и снег. Зима, как правило, начинается в ноябре, и средняя температура за зиму –11,7 °С, самый холодный месяц – январь, когда температура наружного воздуха может опускаться до –47,0 °С. Весна в целом прохладная и сухая [6].

Расчет и проектирование СКВ экспозиционных залов

выполнялись отдельно для зимнего и летнего периодов; спроектированная система проверялась на работу в межсезонье. В каждом из периодов проектирование СКВ выполнялось по экстремальным параметрам, после чего проводилась проверка по средним расчетным параметрам с обеспеченностью 0,98.

## Расчет параметров СКВ

Средние расчетные параметры наружного воздуха для зимнего отопительного периода в Йошкар-Оле приняты [6]:

- средняя температура за отопительный период  $t_{\text{н.ср}} = -5,1$  °С;
- средняя относительная влажность  $\varphi_{\text{н.ср}} = 80\%$ , что соответствует влагосодержанию  $d_{\text{н.ср}} = 2$  г/кг.

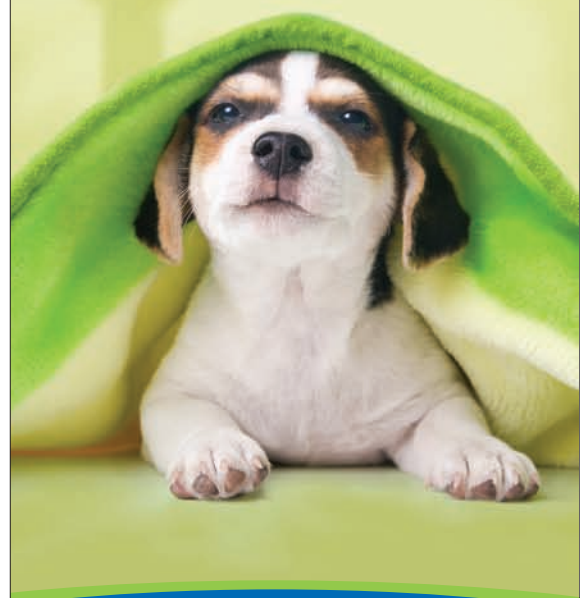
Продолжительность отопительного периода, когда среднесуточная температура не превосходит +8, °С, составляет не менее 220 суток. При необеспеченности 0,98 суммарное время отклонений параметров в залах за сезон может превысить 100 часов, что недопустимо для музейного помещения. Поэтому СКВ для экспозиционных залов проектировались на экстремальные внешние условия: на абсолютную минимальную температуру  $t_{\text{н.мин}} = -47,0$  °С при влагосодержании  $d_{\text{н.мин}} = 0,04$  г/кг [6]. Низкое влагосодержание наружного воздуха вынудило принять для экспозиционных залов галереи в расчетном режиме более высокие нижние границы температуры и относительной влажности ( $t_{\text{вн}} = 20$  °С и  $\varphi_{\text{вн}} = 50\%$ ), чем это рекомендуется



# С НАМИ КОМФОРТНО

## КЛИМАТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

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



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](http://www.ARKTIKA.ru)

федеральными требованиями [3, 4, 5].

Для холодного периода года расчет выполнялся для двух режимов: ночного, когда в зале отсутствуют люди и минимум технических тепловыделений, и дневного, в режиме максимального заполнения зала людьми, когда есть теплоступления от людей и приборов. На диаграмме влажного воздуха (i-d-диаграмме) (рис. 2) показаны процессы обработки наружного воздуха для этих двух режимов как в условиях низких ( $t_{н.мин}$ ), так и средних за отопительный период ( $t_{н.ср}$ ) наружных температур. На этой же диаграмме точками 1÷4 выделена допустимая область параметров ( $B_H$ ) для обслуживаемой зоны (зоны пребывания людей) в экспозиционных залах.

Подготовка наружного воздуха выполняется в два этапа: в центральных кондиционерах, размещенных в подвальном помещении, и в эжекционных доводчиках, размещенных в залах по специальному проекту. При расчете учитывалось также влияние вытеснительной вентиляции залов на работу СКВ.

В ночном режиме, при минимальных нагрузках в зале, условию минимума нагрузок на СКВ отвечают параметры точки 1 в области допустимых параметров обслуживаемой зоны зала  $t_{вн}$  (см. рис. 2). В этой точке температура воздуха  $t_{вн1} = +20$  °С и относительная влажность  $\varphi_{вн1} = 50\%$ , что соответствует влагосодержанию  $d_{вн1} = 7,2$  г/кг. Поэтому на первом этапе, в центральных кондиционерах, готовился воздух с влагосодержанием не ниже  $d_{вн1} = 7,2$  г/кг с возможностью небольшого превышения этого влагосодержания при всех

возможных колебаниях параметров наружного воздуха за весь отопительный период.

Для этого наружный воздух нагревался в двух ступенях: в теплообменнике-утилизаторе теплоты вытяжного воздуха, подогрев в котором ограничивается работоспособностью теплообменника на стороне вытяжки, и в калорифере, подключенном к системе горячего водоснабжения. При низких температурах влагосодержание наружного воздуха много ниже  $d_{вн1} = 7,2$  г/кг, и поэтому температура нагрева в калорифере регулируется так, чтобы после увлажнителя в точке А (см. рис. 2) его влагосодержание составляло  $d_A = 7,2$  г/кг. Например, при минимальной наружной температуре  $t_{н.мин} = -47,0$  °С воздух нагревался до  $t_{нк} = +31$  °С, что соответствует температуре мокрого термометра  $t_{нк.м} = +11$  °С. В адиабатном увлажнителе приточный воздух орошается водой, и его температура снижается до точки А (см. рис. 2). Эффективность блока адиабатного увлажнения ( $Ea$ ) равна 0,9, и поэтому температура в точке А составит:

$$t_A = t_{нк} - Ea(t_{нк} - t_{нк.м}) = 31 - 0,9 \times (31 - 11) = 13.$$

При этом влагосодержание воздуха возрастет до  $d_{пн} = 7,2$  г/кг, что требуется в этом режиме работы. Если же температура наружного воздуха выше – например, соответствует точке  $t_{н.ср}$ , то подогрев в калорифере выполняется до параметров точки  $t_{нк.ср}$ , которой также соответствует температура по мокрому термометру  $t_{нк.м} = +11$  °С, и поэтому после адиабатного увлажнителя, с учетом его эффективности, мы также получим воздух с влагосодержанием не ниже 7,2 г/кг.



■ Рис. 3. Вид на доводчики в подоконном пространстве и способ их подключения (на выноске)

Глубокие скачки параметров наружного воздуха по температуре и влажности в зимний и переходный периоды года эффективно компенсируются в центральном кондиционере сочетанием регулируемого подогрева и эффективного адиабатного увлажнения. Расчеты показывают, что в широком диапазоне изменений внешних параметров на выходе кондиционеров получается приточный воздух с небольшими отклонениями от целевых значений: с температурой  $t_A = 13,0 \pm 0,5$  °С и влагосодержанием  $d_A = 7,2 \div 8,0$  г/кг.

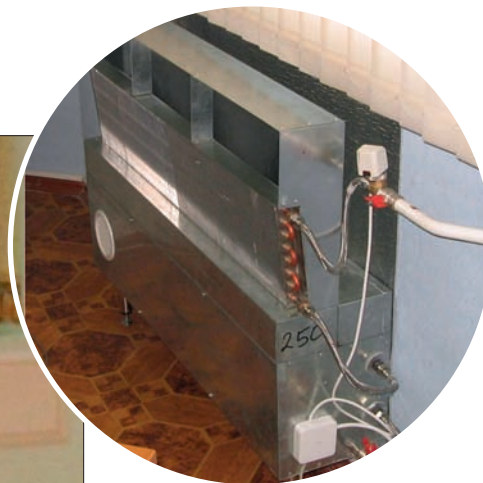
Приготовленный таким образом в кондиционерах воздух поступает в объеме до  $V_{пн} = 5000$  м<sup>3</sup>/ч в каждый из залов. Приточный вентилятор каждого кондиционера, в котором температура воздуха повышается на один градус (точка  $P_{пн}$ ), нагнетает газ в распределительную сеть отдельно для второго и третьего этажей, откуда он поступает к эжекционным

доводчикам, расположенным в основном в подоконных нишах на южной стене каждого зала.

### Реализованная система

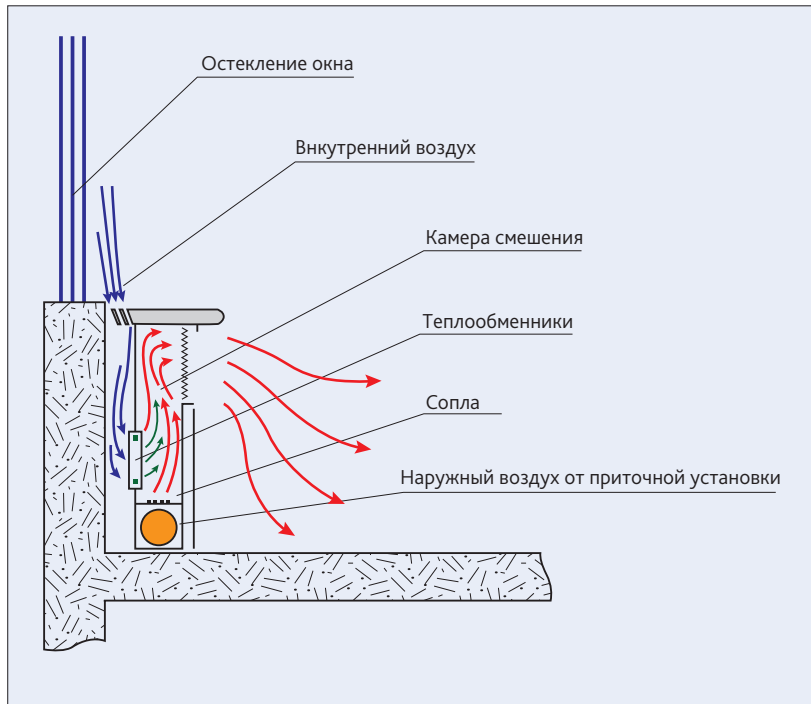
Местно-центральная СКВ, реализованная в экспозиционных залах, оснащена отечественными доводчиками, в которых выполняется окончательная регулировка параметров приточного воздуха перед подачей его в зал. В основном доводчики установлены в подоконном пространстве на южном фасаде здания галереи. Для сохранения архитектурного облика зала доводчики размещены за декоративными панелями с приточными решетками (рис. 3).

В отопительный период доводчики автоматически, по сигналам от датчиков в зале, компенсируют теплотери зала. Нагретый воздух от ДЭ поступает в зал и поддерживает



внутреннюю температуру в установленных границах  $t_{вн} = +20,0 \div 24,0$  °С. При этом влагосодержание автоматически выдерживается в границах  $\phi_{вн} = 50 \div 60$  %.

Конструкция эжекционного доводчика предназначена для круглогодичного прецизионного кондиционирования воздуха во внутренних помещениях, имеет внешний подвод первичного приточного воздуха, в зависимости от сезона охлажденного или подогретого в центральном кондиционере, и встроенные корректирующие теплообменники, которые подключаются к системам подачи тепла и (или) холода, которые регулируются по сигналам от датчиков во внутреннем помещении. На рис. 3 показана схема подключения отдельного доводчика. В зависимости от решаемых задач встроенные теплообменники имеют двух- или четырехтрубную систему питания. В каждом экспозиционном зале размещено по 28 эжекционных доводчиков, из которых 24 доводчика четырехтрубные с двумя встроенными теплообменниками, способные регулировать как подогрев циркулирующего воздуха зимой, так и его охлаждение летом, а остальные – двухтрубные с одним теплообменником – нагревателем – предназначенные только



■ Рис. 4. Конструкция, основные элементы и принцип работы эжекторного доводчика

для подогрева циркулирующего воздуха в отопительный период.

Принцип работы доводчика показан на рис. 4. Выбранные доводчики рассчитаны на подачу 150 м<sup>3</sup>/ч приточного первичного воздуха, что регулировалось выбором размера сопел. Наружный воздух от приточной секции кондиционера поступает в камеру первичного воздуха и через сопла диаметром 5 мм со скоростью примерно 14 м/сек нагнетается в камеру смешения. В камере смешения создается разрежение, которое эжектирует через щель в подоконнике внутренний воздух из помещения. Воздух эжектируется со стороны внутреннего остекления и из верхней зоны помещения. У используемых доводчиков коэффициент эжекции равен  $K_э = 2,8$ , что соответствует рециркуляции 420 м<sup>3</sup>/ч внутреннего воздуха из помещения. В зависимости от сезона эжектируемый поток внутреннего воздуха нагревается или

охлаждается во встроенных теплообменниках.

#### Литература

1. Thomson G. The Museum Environment. Scientific Adviser. 2<sup>nd</sup> 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. ■

*Окончание статьи читайте в следующем номере*

## ЦЕНТРАЛЬНЫЕ КОНДИЦИОНЕРЫ



## РЕШЕТКИ И ДИФFUЗОРЫ



## РЕГУЛЯТОРЫ РАСХОДА ВОЗДУХА



## ВОЗДУШНО-ВОДЯНЫЕ СИСТЕМЫ



## ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ КЛАПАНЫ



## ФИЛЬТРЫ



## ВЕНТИЛЯТОРЫ



Реклама

**ПОЛНЫЙ КОМПЛЕКС РЕШЕНИЙ  
ДЛЯ ВЕНТИЛЯЦИИ  
И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ  
ВОЗДУХА**

НЕМЕЦКОЕ КАЧЕСТВО

www.trox.ru