

Е. Н. Болотов, Т. А. Платонова

**ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ,
РЕАЛИЗАЦИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
МУЗЕЙНОГО МИКРОКЛИМАТА
НА ПРИМЕРЕ ГМИИ ИМ. ПУШКИНА**

Государственный музей изобразительных искусств им. А. С. Пушкина является одним из самых значительных российских музеев европейского и мирового искусства (ил. 1). Он хранит несколько крупных коллекций, которые размещены в главном и соседних зданиях, в т. ч. Галерее искусств стран Европы и Америки и Отделе личных коллекций. Главное здание музея расположено в центре Москвы на Волхонке, является памятником архитектуры и в 2012 г. отметило свое 100-летие. В нем представлены древнеегипетское и древнегреческое искусство со знаменитой скульптурой Давида, сокровища Трои и европейская живопись.

В 2012 г. мы отмечали 90-летие Антоновой Ирины Александровны – бессменного руководителя и директора музея до 2013 г., автора грандиозного проекта создания единого культурного центра, объединяющего более двадцати зданий различного функционального назначения. Главным разработчиком архитектурной части проекта является известный архитектор сэр Норман Фостер. В недрах его мастерской родился стиль «хай-тек», основа которого была заложена в конце XIX в. русским архитектором В. Г. Шуховым, которого Фостер считает своим учителем.

Шухов использовал сетчатые оболочки для оформления основного здания музея. Значительная площадь остекления обеспечивает освещенность верхних залов и внутренних двориков, являясь при этом и причиной высоких температур воздуха (до 55°С) в межфоновом пространстве в солнечные дни.



Ил. 1. Главное здание музея. Фото

В целом задача сохранения музейных коллекций сложна и включает в себя решение многих конкретных проблем. Главные среди них – создание условий хранения экспонатов и обеспечение требуемого микроклимата музейных помещений. К числу основных факторов, определяющих состояние окружающей среды, относят температуру, влажность, подвижность воздуха, его газовый и аэрозольный составы. Задача инженерных систем как раз и состоит в надежном обеспечении внутреннего музейного микроклимата с помощью заданных параметров.

С одной стороны, несмотря на многообразие архитектурных, технических и технологических решений, необходимых при проектировании инженерных систем, для них характерны некоторые общие положения и подходы. С другой, современный уровень развития техники кондиционирования и управления системами, требования по экономии энергоресурсов, экологической и пожарной безопасности предопределяют возможность и необходимость поиска новых эффективных инженерных решений. На примере весьма различных по своим характеристикам зданий нового музейного комплекса ГМИИ (все три являются памятниками архитектуры) рассмотрим различные подходы в разработке систем обеспечения микроклимата:

- основного здания музея, ул. Волхонка, д. 12, площадь 13 500 м²;
- реконструкции здания бывшей городской усадьбы XVIII–XIX вв. под Музей личных коллекций, ул. Волхонка, д. 8, площадь 2 500 м²;
- городской усадьбы Голицыных-Вяземского-Долгоруких, XVII–XVIII вв., XIX–XX вв., М. Знаменский пер. д. 3/5, стр. 1, площадь 24 500 м².

Известно, что процесс естественного старения материалов определяется его природой и условиями хранения. К числу основных климатических факторов, ответственных за состояние музейных коллекций, относят, прежде всего, температуру и влажность воздуха. Они в значительной степени отвечают за скорость физико-химического, физико-механического и биологического старения экспонатов.

Различные материалы при определенных температурах обладают минимальным внутренним напряжением, характерным для их структуры. Отклонения от этих температур создают избыточное напряжение, вызванное линейными и объемными деформациями, от оптимальных влажностных условий – к изменению структуры материалов, что приводит к линейным и объемным деформациям. Переувлажнение в присутствии кислорода ведет к ускорению процесса старения и обесцвечиванию красок, пересушка – к растрескиванию, короблению и расслаиванию.

Повышенная подвижность воздуха вблизи музейных предметов нарушает структуру верхних слоев, особенно живописи, графики, а также форсирует тепловлажностный обмен с окружающей средой. При малой подвижности воздуха образуются застойные зоны.

Для экспонатов принципиально важным является стабильность поддержания параметров окружающей среды. Именно поэтому СКВ должна обеспечить круглосуточное и круглогодичное поддержание оптимальных параметров микроклимата, которые для большинства залов экспозиции определены по температуре внутреннего воздуха 20°С и влажности 52,5%. Предельный диапазон изменения температуры внутреннего воздуха принят не более 1°С, влажности 2,5%.

В залах с высоким потолком необходимо исключить значительный градиент температуры по высоте с учетом возможности размещения крупногабаритных экспонатов в верхней части. Большой перепад температуры вызывают сквозняки.

При проведении временных выставок, например, в формате обмена коллекциями, необходимо восстановить те параметры микроклимата, к которым эти экспонаты адаптированы, т. е. необходимо обеспечить оперативную переналадку СКВ на другие сочетания температуры и влажности. Также необходимо создавать условия для постепенной адаптации («привыкания») вещей при их перемещении из хранилищ в экспозиционные залы.

В здании нашего музея под одной крышей находятся различные по материалу экспонаты от III в. до н. э. до современной живописи. Для каждого типа материала характерно свое оптимальное сочетание температуры и влажности внутреннего воздуха, но комфортные условия важно обеспечить не только для них, но и для посетителей и обслуживающего персонала.

Проект реконструкции инженерных систем должен учитывать существующие архитектурно-строительные особенности и ценность зданий. Например, в памятниках архитектуры нельзя прокладывать дополнительные воздуховоды, за исключением технических помещений и межфазового пространства. Здесь нужно использовать только существующие внутренние каналы систем воздушного отопления и естественной вытяжки. Прокладка трубопроводов и установка оборудования (приборов) возможны только непосредственно в экспозиционных залах, как для сохранения внутреннего интерьера, так и для исключения протечек.

В нынешних условиях площади музея, предназначенные под установку оборудования, крайне ограничены. Необходимо использовать рациональные и конструктивные решения, предполагающие полное отсутствие трубопроводов и элементов оборудования, заполненных водой, как в зоне экспозиций, так и над ними.

Для экспозиционных залов характерен значительный объем подаваемого приточного воздуха. При расчете воздухообмена из условия 5 посетителей на 1 м² воздухообмен составляет, как правило, не менее 10 крат/ч. Необходимо минимизировать подвижность воздуха вблизи экспонатов, что предполагает соответствующие решения по воздухообращению.

Надежность систем является результатом дублирования или резервирования установок, включая 100% резервирование вентиляторов и теплообменников и наличия необходимой тепловой, холодильной и электрической мощностей. Оборудование должно

быть надежным и обеспечивать круглогодичное функционирование. Обычно при определении тепловых и холодильных нагрузок учитывают только статические показатели при расчетных условиях – зимних или летних. Важно знать динамику процессов при максимальном пиковом заполнении музейных залов и иметь для этого разумный запас, например, холодильной мощности, с тем, чтобы быстро вывести параметры среды на расчетные условия.

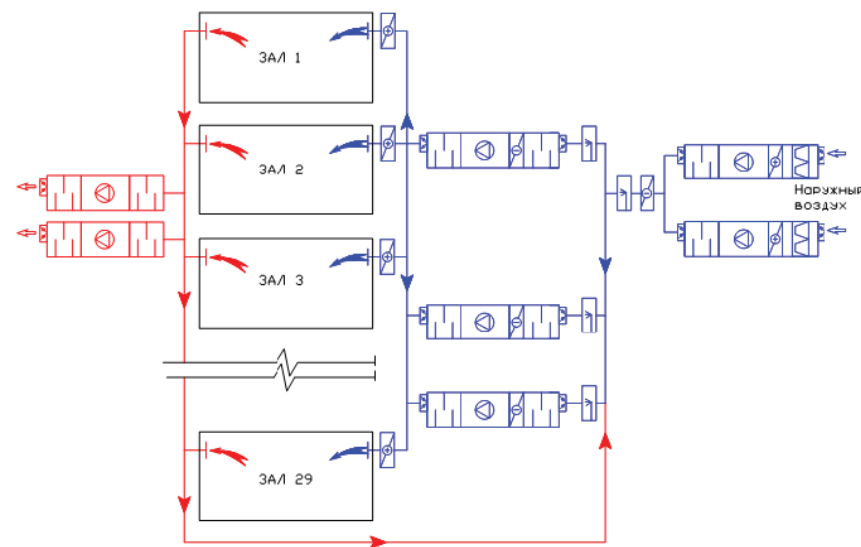
Наличие постоянно открытых дверей и проемов между залами, широкие лестницы в сочетании со значительным остеклением, как на фасадах зданий, так и фонарях, обуславливают значительный расход на инфильтрацию наружного воздуха и зависимость параметров внутреннего воздуха от наружных климатических условий. Музейное здание следует рассматривать как единую гидравлическую схему, где параметры внутреннего воздуха смежных помещений взаимосвязаны.

Сложно учесть влияние всех факторов (внешних и внутренних) и особенно их сочетание, которые влияют на микроклимат помещений: например, сочетание скорости и направления ветра, что в значительной степени определяет расход воздуха на инфильтрацию наружного воздуха и соответственно дополнительные тепло и увлажнение для зимних условий, чтобы парировать эти изменения. Необходимо иметь разумные технологические запасы на оборудовании, но и не следует «гонять» лишний воздух при минимальных нагрузках. Соответственно, вентиляторы приточных и вытяжных установок должны быть оснащены частотным регулированием для изменения расхода воздуха.

В практике проектирования систем кондиционирования для музеев, с учетом большого объема подаваемого приточного воздуха, который существенно превышает необходимую минимальную норму подачи свежего воздуха на одного посетителя в объеме 20 м³/ч, обычно принято устанавливать центральные приточные установки с рециркуляцией и зональными нагревателями для индивидуального (зонального) регулирования температуры приточного воздуха, подаваемого в разные экспозиционные залы. Целесообразно выделить центральные и рециркуляционные установки по обработке наружного воздуха (ил. 2).

В составе центрального кондиционера присутствуют воздушные фильтры для очистки приточного воздуха, лампы УФО, увлажнители, нагреватели и охладители воздуха с достаточной поверхностью

Принципиальная схема кондиционирования выставочных залов Галереи.

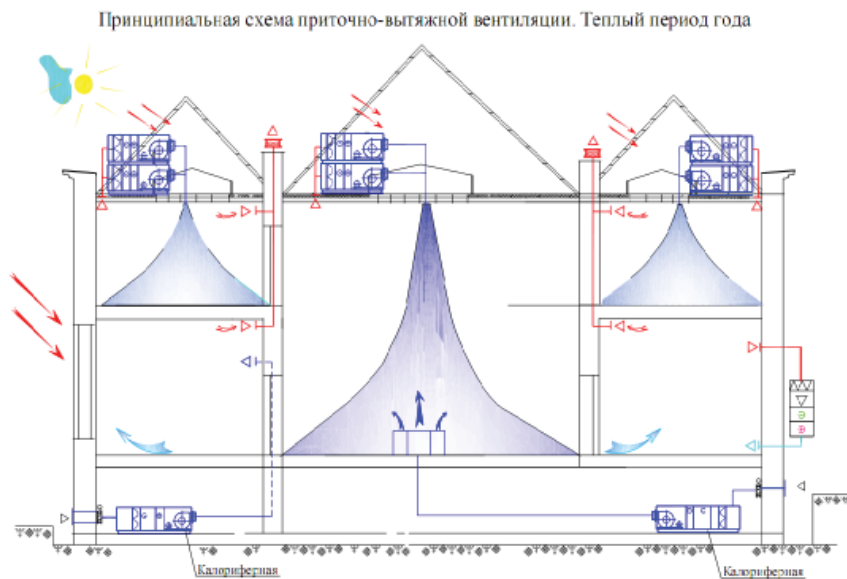


Ил. 2. Принципиальная схема системы кондиционирования

для конденсации избыточной влаги в наружном и рециркуляционном воздухе. Как правило, системы работают с постоянным расходом подаваемого воздуха с качественным регулированием температуры и влажности приточного воздуха.

Ввиду отсутствия необходимых площадей для размещения крупногабаритных приточных установок в основном здании и невозможностью ограничения его посещения в год 100-летия музея (или временного закрытия на короткий период), было принято решение по размещению оборудования в подфонарном пространстве на Шуховских фермах. Часть установок выполнена в два яруса. Организация воздухообмена в здании музея для залов экспозиции второго этажа принята по схеме «сверху – вверх» (ил. 3).

Электродвигатели вентиляторов оснащены частотными регуляторами для изменения расхода приточного воздуха, что в сочетании с качественным регулированием его температуры дает возможность контролировать даже параметры приточной струи на входе в рабочую зону.



Ил. 3. Кондиционирование основного здания музея

Охлаждение и контроль влажности внутреннего воздуха реализованы в первой очереди реконструкции инженерных систем. Увлажнение в холодный период будет реализовано во второй очереди установкой центральных увлажнителей с централизованной подачей приточного воздуха во внутренние дворики и последующим перетеканием воздуха между залами за счет дисбаланса, создаваемого вытяжными системами и действия гравитационных сил.

В основном здании для экспозиционных залов реализована децентрализованная система СКВ: на каждый зал предусмотрена собственная установка. В настоящее время выполняется разработка проекта второй очереди систем кондиционирования для залов первого этажа, в которой предусмотрено:

- установка центральных систем в основных калориферных с централизованной подачей увлажненного воздуха в холодный период года;
- подключение установленных кондиционеров к теплоснабжению через промежуточный теплообменник для работы в зимний период в режиме воздушного отопления и смешения увлажненного

воздуха, поступающего с первого этажа, за счет естественного воздухообмена;

- расширение существующего холодильного центра;
- установка дополнительных холодильных машин;
- разработка системы автоматизации и управления инженерными системами.

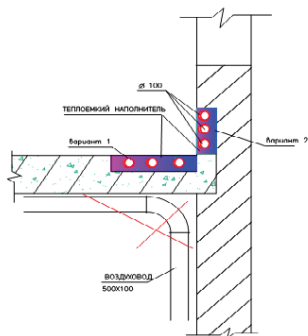
Для музейного микроклимата характерен переменный режим нагрузок, который диктуется, прежде всего, заполнением залов экспозиции от минимальной величины в ночной период и нерабочие дни до максимальных в период проведения временных выставок. Пиковые нагрузки при экстремальных параметрах наружного воздуха компенсируются центральными установками обработки наружного воздуха и периметральными внутренними системами, например, отопления, которые рассчитывают на компенсацию трансмиссионных потерь тепла через ограждающие конструкции здания. В этом случае расход воздуха в центральных рециркуляционных установках, которые и определяют значительный воздухообмен в залах экспозиции, зависит исключительно от численности посетителей и влажности внутреннего воздуха.

В здании усадьбы XVIII в. система водяного отопления сохранена только для технической зоны в подвале и лестничных клетках. Компенсация потерь тепла через ограждающие конструкции реализована воздушной системой панельно-лучистого отопления и охлаждения за счет размещения воздухопроводов в толще перекрытий и стен (ил. 4). Таким образом, из внутреннего объема помещений изъяты отопительные и прочие приборы и исключена возможность утечки воды.

Раздача приточного воздуха реализована по схеме «снизу-вверх» через низкоскоростные воздухораспределители, размещенные у пола или непосредственно от пола методом вытеснения (рис. 5).

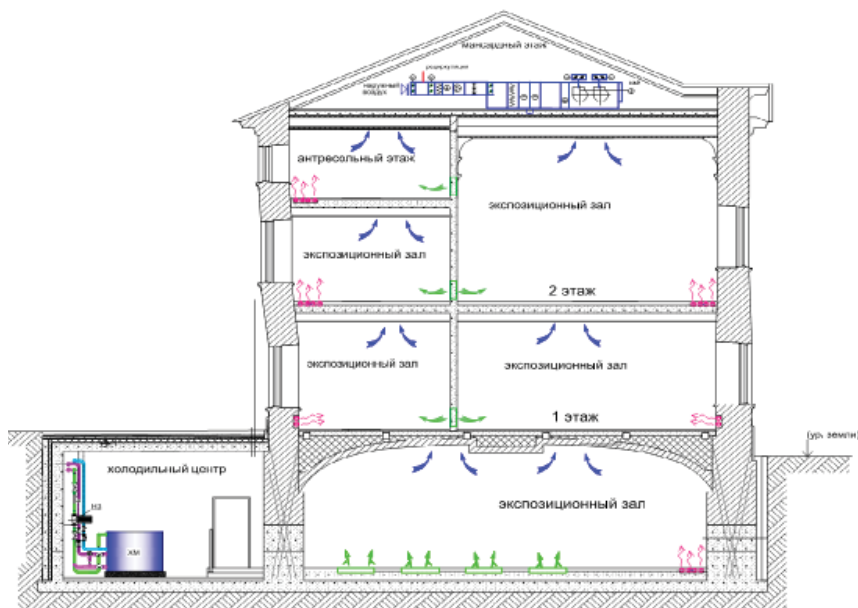
В музее установлены два центральных кондиционера с зональными доводчиками-нагревателями и клапанами VAV для каждого зала экспозиции, которые осуществляют индивидуальный контроль расхода приточного воздуха в зависимости от показателя абсолютной влажности.

Такая схема позволяет увязать расход приточного воздуха пропорционально числу посетителей и при их отсутствии минимизировать работу кондиционеров, вплоть до их полной остановки в режиме ожидания.

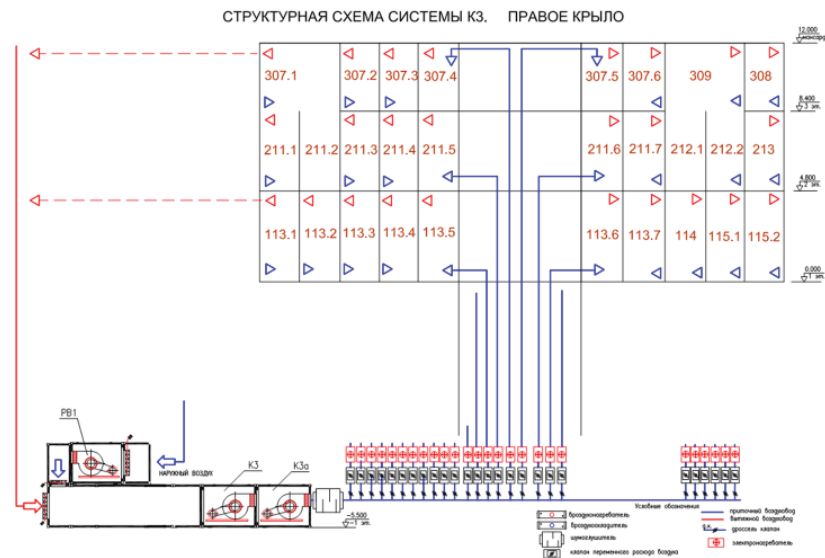


Ил. 4. Панельные системы нагрева и охлаждения

Для здания музея в бывшем Дворянском собрании значительный прирост площадей для залов экспозиции, хранилищ, лектория и пр. реализован за счет новых объемов в подземной части здания. Здесь



Ил. 5. Организация воздухообмена в здании Усадьбы



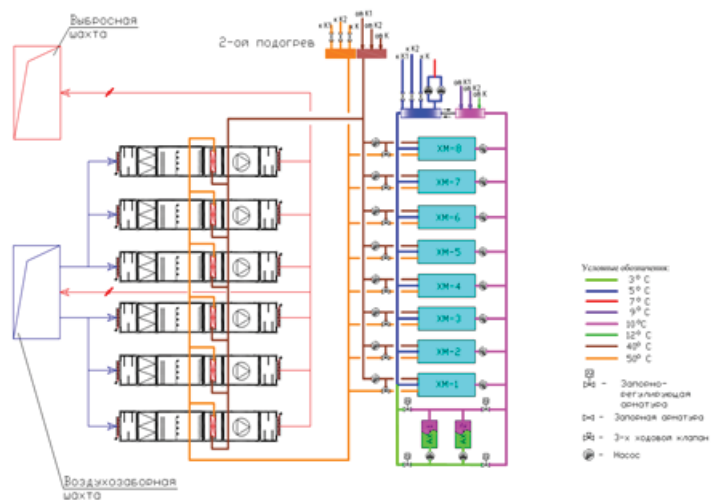
Ил. 6. Система кондиционирования залов экспозиции в здании Дворянского собрания

также использованы системы воздушного панельно-лучистого отопления и охлаждения, размещаемые в стенах и перекрытии тремя большими (по 50 тысяч м³/ч) рециркуляционными установками с зональными доводчиками для каждого зала (ил. 8).

Технические центры, включая тепловой пункт, насосные, вентиляционные камеры и холодильный центр размещены на нижней отметке под хранилищами и залами экспозиции. Таким образом, в верхней части здания, где размещена экспозиция, отсутствуют коммуникации и оборудование с водой, в т. ч. приточные установки, градирни, отопительные приборы, теплообменники. Исключение составляет зона санузлов.

Состав оборудования обеспечивает 100% резервирование вентиляторов и теплообменников. Увлажнение реализовано в поверхностных увлажнителях в кондиционерах обработки наружного воздуха. Удаление избыточной влаги происходит в воздухоохладителях в рециркуляционных кондиционерах. Доводка до индивидуальных параметров приточного воздуха для каждого зала реализована в

Принципиальная схема холодильного центра



Ил. 7. Холодильный центр

зональных нагревателей с контролем расхода приточного воздуха в клапанах VAV.

Как правило, значительные проблемы вызывает размещение наружных блоков охлаждающего оборудования: градирен, сухих охладителей, холодильных машин с воздушным охлаждением. Они являются мощным источником шума, как для собственно музея, так и близлежащих зданий. Для исключения протечек нежелательно размещение градирен или холодильных машин над залами экспозиции. Соответственно, местом расположения холодильного центра в здании Дворянского собрания мощностью 3,5 МВт и градирен выбран нижний подземный уровень, для здания усадьбы с холодильной мощностью 150 кВт – подвал. Доставка крупногабаритного оборудования реализована через воздухозаборные шахты в период строительства и с помощью грузового лифта (здание 3). Таким образом, холодильные машины приняты с ограничением по весу и габаритным размерам 2200 x 880 x 1800 (h).

С учетом высокой расчетной температуры и энтальпии наружного воздуха (35°С и 68 кДж/кг) приточный воздух для охлаждения

подлежит адиабатическому увлажнению в поверхностных увлажнителях, что позволяет сократить его расход более чем в три раза. Теплообменники (охладители) приняты с повышенными техническими характеристиками, включая частоту и профиль оребрения.

Принципиальная схема центрального холодильного центра с попутной утилизацией тепла представлена на ил. 7. Количество холодильных машин принято из условия резервирования N+1 и ограничения по массе и габаритным размерам.

Система холодоснабжения закрытая. Холодоносителем в системе является вода с параметрами 7–12°С с возможностью захлаживания в баках-аккумуляторах до 3,5°С. Принципиальная схема холодильного центра учитывает возможность изменения расходов воды в системе холодоснабжения включая/выключая блок XМ + насос. Наличие байпаса между подающей и обратной гребенками обеспечивает постоянство расхода через каждую холодильную машину и соответственно гидравлическую устойчивость ее работы при резко переменном расходе холодоносителя. Наличие разноудаленных потребителей с параметрами 7–12°С определяет целесообразность использования насосов-доводчиков с учетом фактических гидравлических потерь по отдельным веткам системы холодоснабжения и собственного температурного графика.

Система автоматизации и диспетчеризации в сочетании с оптимизирующими алгоритмами исключает «холодную» работу холодильных машин и насосов при недостаточной загрузке. Соответственно, расчетные максимальные уровни шума достигаются при пиковых нагрузках, что наблюдается исключительно при высоких температурах наружного воздуха 2–3 недели в году в дневные часы.

Для экономии тепла использована утилизация тепла от конденсаторов холодильных машин на теплообменниках второго подогрева центральных кондиционеров, что значительно снижает расход охлаждающей воды. Утилизация тепла от холодильных машин позволяет отказаться от внешнего потребления горячей воды через внешние тепловые сети в теплый период года на нужды систем центрального кондиционирования.

СКВ кроме технологических характеристик имеют еще один важный параметр – стоимость начальных капитальных вложений и эксплуатационные расходы. Это значит, что технические решения должны укладываться в разумные ценовые рамки. Статистика,

особенно зарубежная, показывает, что надежное обеспечение условий хранения музейных коллекций приводит к существенному сокращению расходов на реставрацию, неправильное – к разрушению материала. Известно, что «воссоздание» или «возрождение» оригинала, первоисточника – это задача, в принципе, недостижимая. Обеспечение научного хранения культурного наследия остается сегодня главной задачей.