



Е. Н. Болотов
генеральный директор
ООО «ВАК-инжиниринг»,
эксперт по музейному
климату

СОЗДАНИЕ МУЗЕЙНОГО МИКРОКЛИМАТА

Сегодня значительные средства выделяются из государственного бюджета на реконструкцию ряда центральных музеев, в том числе на создание музейного городка ГМИИ им. А. С. Пушкина, включая существующие исторические здания и новый реставрационно-выставочный ДРВЦ с современными хранилищами, комплекс зданий музеев Московского Кремля на Красной площади, Политехнический музей. Реализуются проекты частных музеев. Однако экспозиции невозможно будет демонстрировать, если в музейных зданиях не обеспечены необходимые условия, включающие в том числе и создание специально микроклимата.

Автор статьи принимал участие в разработке проектной документации для упомянутых выше музеев в Москве, а в ряде случаев — и в существенной переработке технических решений, ошибочно принятых без учета специфики создания музейного микроклимата иными проектными организациями. Безусловно, положительным является и опыт,

полученный при посещении ряда ведущих музеев Европы (Германии, Голландии, Бельгии, Англии, Шотландии, Швеции, Австрии, Франции и др.) после их глобальной реконструкции для ознакомления с результатом работы зарубежных специалистов, в том числе по созданию музейного микроклимата в экспозиционных залах, хранилищах, реставрационных мастерских, а также практический опыт сотрудников компании «ВАК-инжиниринг» в проектировании, производстве монтажных и особенно проведении пуско-наладочных работ и комплексных испытаний.

Задача создания музейного микроклимата сложна и многообразна. Главным фактором обеспечения сохранности коллекций является стабильный температурно-влажностный режим — это, как правило, 20 °С и 50 % относительной влажности с ограничением амплитуды колебаний не более ±1 °С по температуре и ±2,5 % относительной влажности при круглосуточном и круглогодичном функционировании систем.

Ограничение рабочей области фактических параметров внутреннего воздуха является причиной значительных расходов и, как следствие, кратности воздухообмена в экспозиционных залах — более 6 (часто 8–10 крат) при расчетной численности посетителей 5 м² на человека при ограничении подвижности воздуха вблизи экспонатов не более 0,15 м/с. Соответственно, более чем актуальной является задача выбора схемы организации воздухообмена с приоритетом применения (как показывает международная практика) вытесняющей вентиляции.

Большинство музеев размещаются в исторических зданиях, которые являются памятниками архитектуры и имеют ограничения в возможности размещения дополнительного инженерного оборудования и прокладки коммуникаций, включая воздуховоды. К тому же эти здания располагаются в условиях плотной городской застройки, а значит, необходим контроль газового состава воздушной среды и оптимизация мест организации забора воздуха.

Для создания музейного микроклимата необходимо применение систем кондиционирования первого класса с коэффициентом необеспеченности не ниже 0,98 или необеспеченностью заданных параметров не более 100 часов в год. При этом следует иметь в виду, что затраты на восстановление утраченных элементов коллекций крайне велики, поэтому необходимо надежное резервирование функционирования инженерных систем.

Для исключения аварийных ситуаций в ряде случаев недопустимо нахождение в пределах экспозиционных помещений и хранилищ или над ними приборов, трубопроводов или конденсатопроводов с водой, включая зональные доводчики, фэнкойлы и отопительные приборы.

Помещения музеев, как правило, представляют собой анфилады экспозиционных залов, связанные парадными лестницами, высокими атриумами и внутренними дворами. Здание необходимо рассматривать



КОМПЛЕКСНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ, РЕСТАВРАЦИЯ И ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ПОД
СОВРЕМЕННЫЕ МУЗЕЙНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
Москва, Кремль, Соборная площадь, Патриарший дворец, одностолпная палата

как единую гидравлическую систему с неорганизованным (или управляемым) перетеканием и значительным влиянием инфильтрации на внутренние параметры микроклимата.

Целесообразно с учетом изложенных факторов конкретизировать отдельные решения по организации противодымной вентиляции в зданиях музеев, включая возможность создания положительного дисбаланса для защиты смежных залов от задымления с выделением необходимых расчетов и отражения принятого решения в СТУ.

Таким образом, проектирование систем обеспечения музейного микроклимата имеет свою специфику и требует принимать во внимание ряд дополнительных существенных факторов, незнание которых, как показывает практика, очень часто приводит к системным ошибкам и отрицательному результату и в конечном итоге не позволяет выйти в условиях эксплуатации на требуемые параметры внутреннего микроклимата.

Внутренние инженерные системы музея предназначены для создания оптимальных условий для сохранения исторического здания и предметов экспозиции с учетом современного мирового опыта музейной эффективности зданий подобного типа.

Для создания внутренних инженерных систем музея необходимо решение следующих задач.

- Обеспечение высокого уровня технического оснащения музея, в первую очередь обеспечение долговечности предметов экспозиции путем оборудования музея установками для поддержания в экспозиционных залах круглосуточного и круглогодичного оптимального температурно-влажностного режима с учетом ограничения по подвижности внутреннего воздуха.
- Оптимальное использование площади для размещения инженерного оборудования и коммуникаций. Адаптация существующих систем воздушного отопления (например, системы воздушного отопления Амосова для организации воздухообмена в главном здании ГМИИ им. А. С. Пушкина: ул. Волхонка, 12), максимальное использование существующих вентиляционных шахт.
- Надежность и резервирование инженерных систем.

- Реконструкция существующих зданий, устройство в них новых технических центров и оптимизация зон прокладки распределительных инженерных коммуникаций, отсутствующих в существующем здании.
- Обеспечение пожарной безопасности.
- Обеспечение общей безопасности и сохранности экспозиции.
- Гибкость проектных решений, обеспечивающих проведение переменных экспозиций и многофункциональное использование свободных пространств.
- Оптимизация энергопотребления, экологичность технических решений, максимальное использование вторичных энергетических ресурсов.
- Автоматизация и диспетчеризация работы инженерных систем. Применение интеллектуальных алгоритмов, реализация экспертных систем (баз знаний) в управлении системами.
- Оптимизация эксплуатации инженерных систем.

Расчетная плотность посетителей для экспозиционных помещений, требования по ограничению значений температуры и, прежде всего, влажности внутреннего воздуха, принятая схема организации воздухообмена являются основами для определения объема приточного воздуха в экспозиционное помещение. Отношение полученного

воздухообмена к объему помещения является результирующей кратностью, в значительной степени (пропорционально) зависящей от высоты экспозиционного помещения. Ограничение воздухообмена из-за сложности в прокладке воздуховодов ссылкой на так называемые нормируемые кратности воздухообмена для экспозиционных помещений недопустимы.

Европейским требованием по обеспечению качества музейного микроклимата является постоянный мониторинг газового состава внутреннего воздуха и применение средств молекулярной очистки.

Расчетные уровни шума основных музейных помещений принимают по действующим нормативам и в соответствии с международной практикой для выставочных помещений:

- NR35/40 дБа — нормальный режим;
- NR40/45 дБа — пиковый режим;
- NR45/50 дБа — максимальные значения.

Воздушные потоки вблизи коллекций должны быть ограничены на низком уровне. Высокие скорости движения воздуха способствуют быстрому поглощению или выделению влаги. Кроме того, определенные объекты (такие как картины или холсты) сильные потоки воздуха могут привести в движение, что может стать причиной механических повреждений. Практика доказывает,



РЕКОНСТРУКЦИЯ, РЕСТАВРАЦИЯ И ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ПОД СОВРЕМЕННЫЕ МУЗЕЙНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
Москва, комплекс зданий Дом Пашкова

что максимальная величина скорости 0,1 м в секунду вблизи объектов является наиболее безопасной. Параметры воздуха в потоке (струе) должны поддерживаться на среднем уровне и не отклоняться слишком далеко от среднего показателя. Если картина привыкла к температуре 20 °С, а в потоке воздуха рядом с ней температура 16 °С, это может повлечь за собой деформацию и повреждение. Таким образом, скорость воздуха 0,1 м в секунду может поддерживаться только в хорошо смешанном воздухе, то есть при стабильной температуре и относительно стабильной влажности воздуха.

Наличие значительной площади наружного остекления фонарей и оконных проемов, расположение разновысотных экспозиционных залов на различных отметках, сложные горизонтальные и вертикальные гидравлические связи различно ориентированных по фасадам помещений через открытые анфилады, холлы, лестницы, присутствие открытых пространств перед зданием музея для прямого ветрового воздействия являются причиной значительной составляющей неорганизованного потока воздуха, проходящего через ограждающие конструкции здания (инфильтрация и эксфильтрация), что в свою очередь влияет на фактические параметры внутреннего воздуха в залах, особенно вблизи ограждающих конструкций.

При расчете воздухообмена по помещениям здания музея предусматривается поддержание положительного воздушного баланса в целом по зданию и в частности в выставочных помещениях, хранилищах и помещениях для работы с экспонатами. Меры по поддержанию положительного баланса в здании включают организацию тамбуров у всех главных входов в здание, используемых в холодный период года, применение воздушных завес на входах.

Оснащение здания музея полноценными современными инженерными системами с соблюдением всех требований по созданию и поддержанию в полном объеме музейного микроклимата требует выделения значительных площадей для технических помещений, прежде всего для систем вентиляции, кондиционирования воздуха и холодоснабжения (холодильный центр).

С другой стороны, ограничение в диапазоне допустимых значений

температуры и влажности внутреннего воздуха в экспозиционных залах имеет следствием значительный воздухообмен в объеме 6 и более крат и, соответственно, использования крупногабаритных шахт и каналов для дополнительной прокладки воздуховодов.

Оптимизация инженерных нагрузок и минимизация технических площадей может быть достигнута в реализации в том числе следующих решений.

- Использование свободного межфазного пространства для размещения крупногабаритных вентиляционных установок и компрессорно-конденсаторных агрегатов с организацией воздухообмена по схеме «сверху-вверх».
- Значительный воздухообмен, ограничения в прокладке инженерных коммуникаций в исторических зданиях и проблемы с размещением инженерного оборудования требуют оптимального сочетания централизованных и децентрализованных систем с максимальным использованием существующих каналов.
- Вентиляционные установки предпочтительно размещать непосредственно под экспозиционными залами или рядом, с минимизацией транзитных трасс воздуховодов и организацией раздачи приточного воздуха по схеме «снизу-вверх» методом displacement ventilation.
- Холодильный центр, тепловой пункт, насосные, помещения для электрооборудования целесообразно размещать в одном техническом блоке.
- Максимальная утилизация вторичных тепловых и энергетических ресурсов позволяет значительно снизить расчетные нагрузки на внешние сети.
- Для здания музея характерен переменный режим работы в зависимости от текущего числа посетителей, что определяет переменную величину загрузки инженерных систем в течение суток и недели. При реализации системы с переменным расходом, в том числе и системы холодоснабжения, при использовании ночного режима работы холодильных машин для аккумуляции холода, снижения расчетной суммарной холодильной

и, соответственно, электрической мощности составит до 30 %, что в свою очередь также позволит сократить необходимые площади для размещения оборудования.

- Целесообразно выполнить зонирование здания музея на ряд помещений с различными требованиями по температурно-влажностному режиму, что существенно снизит энергоемкость инженерных систем и их стоимость.
- Переход от открытого способа хранения к закрытым витринам позволяет сократить воздухообмен, снизить требования к расчетным параметрам внутреннего воздуха и, соответственно, снизить энергоемкость систем.

Инженерные системы музея должны обеспечивать круглогодичные параметры внутреннего воздуха в режиме нагрева и охлаждения во все периоды года, включая и переходный. Однако для исключения возможных протечек следует ограничить установку водяных приборов отопления и исключить применение фэнкойлов, охлаждающих баков и аналогичного оборудования с дополнительной возможностью образования конденсата в экспозиционных помещениях или над ними.

С целью обеспечения требуемой для музея надежности теплоснабжения теплообменники и насосные установки всех контуров теплоснабжения и отопления предусматриваются со 100 % резервированием.

Вентиляция выставочных залов, хранилищ и помещений для работы с экспонатами обеспечивается централизованными системами кондиционирования и вентиляции (СКВ). Максимальная расчетная производительность данных систем рассчитывается на ассимиляцию теплоизбытков и поддержание расчетной относительной влажности. Управление работой СКВ осуществляется по показаниям комнатных термостатов, гигрометров и датчиков СО.

Ошибочной является установка в экспозиционных залах и хранилищах зональных доводчиков фэнкойлов ввиду отсутствия возможности контроля влажности внутреннего воздуха в допустимом диапазоне. Детальное обоснование данного положения с расчетами подробно представлено в замечательном новом издании М.Г. Тарабанова «Кондиционирование воздуха» [1].

В качестве базовой схемы для построения системы обеспечения музейного микроклимата следует использовать предложение Гарри Томсона из руководства «Музейный климат» [2].

СКВ помещений выставочного комплекса проектируются с рециркуляцией, при этом объем наружного воздуха в общем объеме приточного воздуха составляет, как правило, 20 %, но не менее объема, необходимого по действующим санитарным нормам.

Оборудование для экспозиционных помещений должно иметь 100 % резервирование или каждое помещение предусмотрено обслуживать как минимум двумя приточно-вытяжными установками, чтобы обеспечить необходимую надежность систем кондиционирования.

Пример построения системы для одного из объектов ГМИИ им. А. С. Пушкина приведен на рисунке.

с возможностью индивидуального регулирования расхода воздуха (от максимального до минимального) по отдельным зонам установкой зональных клапанов VAV;

- применение системы холодоснабжения с переменным расходом холодоносителя;
- применение холодильных машин с высоким С.О.Р.;
- применение потенциала свободного холода до -5°C без включения холодильных машин для поддержания заданного влагосодержания приточного воздуха в залах экспозиции в переходный период года;
- использование двухступенчатой системы охлаждения воздуха;
- стабилизация температурного и гидравлического режима функционирования холодильных машин с сохранением максимального С.О.Р.;

электробойлеров и исключить потребление тепловой энергии в калориферах второго подогрева в составе центральных кондиционеров в теплый период года.

Инженерные системы здания музея функционируют в режиме реального времени в условиях переменных как внешних, так и внутренних нагрузок. С другой стороны, схема обработки воздуха в центральных кондиционерах с учетом выбранной схемы воздухоохлаждения должна иметь возможность реализации альтернативных вариантов достижения заданных расчетных параметров воздуха в рабочей зоне. В процессе наладки и в дальнейшем при эксплуатации инженерных систем (ИС) проводится поэтапная корректировка начальных уставок в контроллерах системы автоматизации, более или менее успешная.

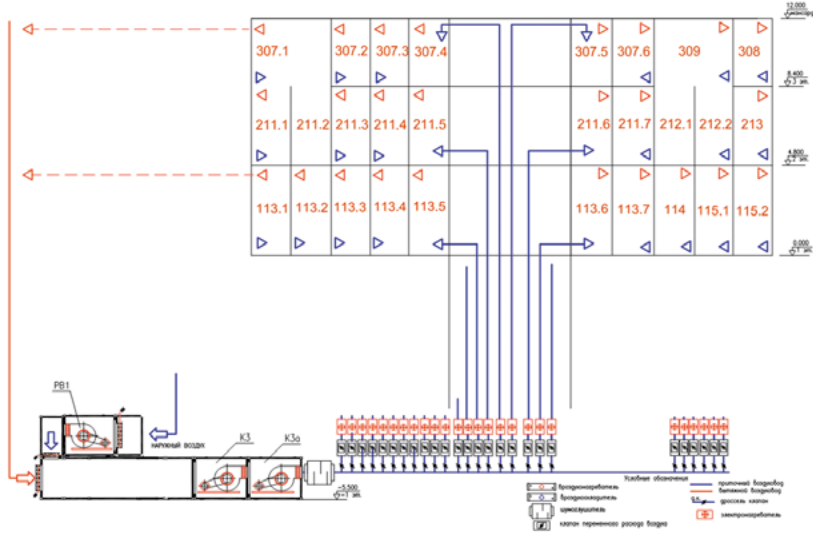
Следует максимально использовать возможности как существующего оборудования систем автоматизации, так и современного программного обеспечения, включая разработку специализированных экспертных систем, построенных на обработке накопленной на сервере информации с датчиков температуры и влажности в обслуживаемых помещениях в различные периоды времени и принятые алгоритмы управления ИС.

На основе разрабатываемого специалистом по системам обеспечения микроклимата алгоритма и соответствующей программы производится корректировка существующего алгоритма управления ИС с последующей оценкой результата по выбранным критериям, включая достигнутый практически коэффициент обеспеченности параметров внутреннего воздуха и показатели энергоэффективности на текущем шаге итераций.

Ввиду насыщенности здания музея инженерными системами, повышенных требований к ним в состав проектной документации следует включать и разработку программы комплексных испытаний систем с симуляцией в ряде случаев тепло- и влагопоступлений для отдельных помещений, подтверждающих работоспособность комплекса ИС и отработки алгоритма управления до появления в здании постоянных коллекций.

Расчеты процессов обработки воздуха с построением в J-d-диаграмме необходимо выполнить

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ КЗ. ПРАВОЕ КРЫЛО



Основными потребителями электроэнергии в системе вентиляции и кондиционирования здания являются:

- холодильные машины;
- насосы холодильного центра;
- вентиляторы приточно-вытяжных и рециркуляционных установок.

Соответственно существуют следующие пути снижения электропотребления:

- применение системы приточно-вытяжной вентиляции (кондиционирования) здания с переменным расходом воздуха в зависимости от загрузки,

- использование частотных преобразователей для электродвигателей насосов и вентиляторов.

Переменный режим работы в сочетании с оптимизирующим алгоритмом управления включением/выключением холодильных машин и насосных групп, обеспеченных частотным регулированием, позволяет в конечном итоге получить расход электроэнергии пропорционально загрузке технологического оборудования: холодильных машин, насосов, вентиляторов.

Утилизация тепла от холодильных машин дает возможность отказать от установки резервных



[1] Тарабанов М. Г. Кондиционирование воздуха. Ч. 1. — М.: АВОК-ПРЕСС, 2015. — (Техническая библиотека НП «АВОК».)

[2] Томсон Г. Музейный климат. — СПб: Скифия, 2005.

для трех расчетных условий: холодный, теплый и переходный периоды года. Для музейного микроклимата переломным (переходным) периодом, как правило, является зона температур наружного воздуха от -5 до $+5$ °С, когда возникает необходимость включения холодильных машин и реализация летних алгоритмов обработки воздуха с удалением избыточной влаги.

Следует исключить работу холодильных машин в холодный период года для обеспечения параметров музейного микроклимата. Необходимо максимально использовать охлаждающий потенциал наружного воздуха.

Здание музея является, как правило, многофункциональным, в нем есть помещения с различными по времени пиками максимальной величины тепло- и влажоступлений (экспозиция, офисы, реставрационные мастерские и т. п.). Для достижения максимальной энергоэффективности ИС, прежде всего приточные и вытяжные, тепло- и холодоснабжение следует проектировать с переменным воздушным и гидравлическим режимом работы с учетом коэффициента загрузки оборудования. Возможно достижение расчетного коэффициента в пределах 0,4–0,6, что позволяет, используя современные инженерные решения в сочетании с эффективными алгоритмами управления ИС, пропорционально сократить площади под установленное оборудование, снизить его стоимость, существенно ограничить максимальное энергопотребление. В условиях нахождения комплекса зданий в центре города указанный комплекс мероприятий существенно снижает потребности в объеме тепло- и энергоносителей и облегчает получение технических условий.

Для обоснования коэффициента загрузки следует выполнить расчеты ИС не только для предельных условий в холодный и теплый периоды года, но и дополнительно по всему годовому циклу с учетом показателей по часам стояний температур

наружного воздуха в соответствии с существующими методиками.

Важнейшим этапом в процессе создания музейного микроклимата является производство пусконаладочных работ и комплексные испытания по подтверждению требований по техническому заданию показателей по температуре, влажности и подвижности воздуха. Испытания должны покрывать четыре годовых цикла работы ИС, для которых характерны различные режимы обработки воздуха: зимний (холодный), летний (теплый) и два переходных — весна и осень.

Комплексные испытания предусматривают одновременную работу всех ИС, включая вентиляционные, тепло- и холодоснабжение, водоснабжение и водоотведение, автоматику и энергоснабжение.

Для проверки и контроля внутреннего тепловлажностного режима с учетом управления перетеканием внутри здания все вентиляционные системы должны работать в штатном режиме (включая, например, вытяжку из санузлов).

С учетом особой важности в достижении заданных параметров в экспозиционных залах следует до появления посетителей выполнить моделирование (симулирование) с искусственными источниками тепла и влаги в объеме расчетных нагрузок от посетителей в режиме переменных нагрузок с отработкой реакции системы автоматизации и подтверждение нахождения изменяющихся параметров в допустимых пределах.

Полученные параметры внутреннего воздуха по отчету (графику) в диспетчерской следует сопоставить с показателями, полученными оттестированными ручными измерительными приборами. Измерения следует производить одновременно во всех характерных зонах экспозиционного помещения, как в плане, так и по высоте рабочей зоны.

Современная промышленность выпускает широкий спектр климатического оборудования и средств автоматизации и управления. Однако каждое здание имеет свои специфические особенности, особенно старые здания, являющиеся памятниками архитектуры. Соответственно, вмешательство проектировщика ИС с целью размещения громоздкого оборудования и прокладки габаритных воздухопроводов, устройства вентиляционных решеток должно

быть обоснованным и минимальным, с одной стороны, с другой — необходимы достаточные холодильные мощности, рациональная организация воздухообмена и т. п. Поэтому применение стандартных проектных решений создания климатических систем, ранее отработанных на объектах другого (не музейного) назначения не дает оптимального результата. Как показывает опыт (и прежде всего зарубежный), в каждом современном здании музея, включая и здания после реконструкции, есть широчайший набор конкретных решений по схемам обработки воздуха, как следствие, по составу оборудования (но не фирм-изготовителей), устройству холодильных центров и систем холодоснабжения, решений по наружным охлаждающим блокам, структурным схемам и алгоритмам управления тепло-влажностным режимом здания. На всех этапах проектирования прорабатываются различные варианты компоновки систем для выбора окончательного оптимального решения, в том числе по стоимостным показателям.

К проектированию, монтажу, пусконаладочным работам по ИС и управлению проектом создания музейного микроклимата приглашаются организации с положительными результатами работы на аналогичных музейных проектах в России, имеющие лицензию Министерства культуры. Для проектирования музейного микроклимата, имеющего свою технологическую специфику, необходимо иметь опыт в решении задач по теплофизике, организации и управлению тепловлажностным и воздушным режимом здания. Для сложных дополнительных расчетов, как и в зарубежной практике, является обязательным применение специализированных программ по расчету и моделированию, например ANSYS и др. Для детальной конструкторской разработки построения ИС, включая стадию «П», следует выполнять в 3-d-моделировании, например, в среде «Ревит». Обычной практикой в Европе является построение термодинамической модели ИС для проверки работоспособности в круглогодичном цикле функционирования и получения технических показателей для сравнения вариантов. Аналогичная практика была применена при проектировании ряда зданий ГМИИ им. А. С. Пушкина (Москва). ●