

Проектирование систем кондиционирования воздуха исторических зданий на примере корпуса Бенуа Государственного Русского Музея

Описание:

Общий подход к проектированию систем кондиционирования воздуха (СКВ) старинных зданий отработан при выполнении проектов, анализе фактических режимов работы и опыте сервисного обслуживания инженерных систем в исторических зданиях.



Общий подход к проектированию систем кондиционирования воздуха исторических зданий на примере корпуса Бенуа Государственного Русского Музея

С. Ю. Кондрашов, ген. директор ПИИ ЗАО "Кондиционер-Сервис", Санкт-Петербург

Л. А. Фиршт, нач. технического отдела

Д. А. Сотников, ведущий специалист технического отдела

Общий подход к проектированию систем кондиционирования воздуха (СКВ) старинных зданий отработан при выполнении проектов, анализе фактических режимов работы и опыте сервисного обслуживания инженерных систем в исторических зданиях. Как правило, в таких зданиях имеются стандартные ограничения по массогабаритным, акустическим, мощностным характеристикам, по конструкции и типу воздухораспределительных устройств, допустимым потребляемым мощностям и т. п. Дополнительные ограничения при проектировании современных СКВ накладывают контролирующие органы (ГИОП, СЭС, Противопожарная инспекция и прочие организации).

Первоначально для Государственного Русского Музея (ГРМ) был выполнен проект СКВ фондохранилища (флигель Росси), затем проведен их монтаж, наладка и сервисное обслуживание. В середине 1998 года по заданию ГРМ были разработаны "технические решения СКВ основных помещений корпуса Бенуа". В конце 1999 года специалисты приступили к двухстадийному проектированию СКВ залов экспозиции корпуса, параллельно с этим проводилось обследование помещений корпуса, в том числе вспомогательных для возможного размещения вентиляционного оборудования, воздуховодов, холодильных машин, баков и др.



Михайловский дворец - главное здание Русского Музея - построено в 1819-1825 годах для младшего брата императора Александра I, великого князя Михаила Павловича. Автор проекта дворца - выдающийся зодчий К. Росси. В 1912-1916 годах по проекту Л. Бенуа построено второе здание музея, так называемый "Корпус Бенуа", относящийся к произведениям национальной архитектуры начала XX века и являющийся экспозицией и хранилищем бесценных произведений живописи, скульптуры, предметов

декоративно-прикладного искусства России и СССР.

В плане здание представляет собой квадрат со стороной 80 метров, имеет два этажа на наружных фасадах и три этажа во внутренней части корпуса, под некоторыми помещениями имеется подвал. Анфилада открытых дверей и лестничные клетки, соединяющие этажи, образуют единый воздушный объем здания. Над частью здания, обращенной в узкие внутренние дворики (внутренняя анфилада), имеется чердак, над остальной частью здания - фонарь верхнего света для залов второго этажа. Фонарь образует совокупность из трех остроугольных и плоских наклонных конструкций. Такая геометрия образует два воздушных объема фонаря - внутренний, примыкающий к залам второго этажа, и наружный. Высота помещений первого и второго этажа - 7 м, бельэтажа - 2,9 м, подвала - 2,5 м.

В корпусе размещены экспозиция, выставки, фонды, реставрационная мастерская, склад и другие помещения. Согласно плана администрации, в первую очередь, требовалось предусмотреть СКВ выставочных залов второго этажа общей площадью 2 900 м² и первого этажа общей площадью 910 м². Общий объем этих помещений составляет около 25 тыс. м³. Согласно техническому заданию в рабочей зоне залов экспозиции требовалось создать и автоматически поддерживать температуру воздуха от 20 до 23⁰С (летом) с отклонением $\pm 2^0$ С, относительную влажность 40-50% $\pm 5\%$. Под рабочей зоной понимается пространство вдоль стен в зоне расположения картин (от 1,2 до 4 метров от пола). С учетом вида экспозиции принималось во внимание возможное уменьшение требуемой влажности воздуха в рабочей зоне залов до 30%. Принимались в расчет требования к параметрам воздушной среды для посетителей и персонала, подача санитарной нормы наружного воздуха (20 м³/ч·чел. при максимальном заполнении залов 400 человек), очистка наружного и рециркуляционного воздуха, уровень шума в пределах предельного спектра (ПС)-45.

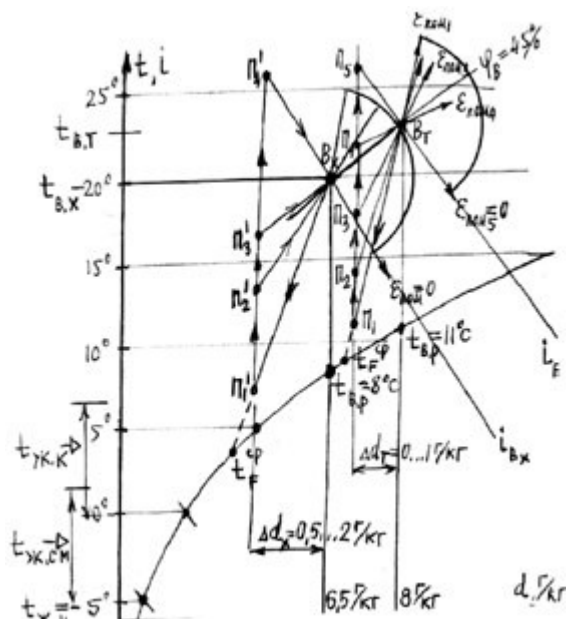
При выборе принципиальных решений СКВ, СХС, САУ, типа оборудования и мест его размещения учитывались многочисленные специфические требования и ограничения. В старинных зданиях, как правило, по соображениям сохранности дизайна залов в них запрещена прокладка воздуховодов, трубопроводов, а иногда недопустимо устанавливать температурные датчики. Дополнительные ограничения при проектировании накладывают государственные инспекции, преимущественно ГИОП. Одним из основных желательных решений по организации подачи и забора воздуха является использование существующих внутрстенных каналов, однако это допустимо только при соответствии их геометрии, размеров, удельных сопротивлений за счет шероховатостей стенок и герметичности требуемым характеристикам. С другой стороны, использование каналов позволяет обслуживать помещения без ущерба их дизайна.

Специальные условия предъявляются к местам размещения приточных и вытяжных устройств, их количеству, форме, цвету и симметрии расположения. С другой стороны, воздухораспределители должны быть управляемыми, позволять изменять траекторию и форму струи (от компактной до неполной веерной), что позволяет откорректировать схему циркуляции в процессе испытания и наладки СКВ.

Основой выбора принципиальных решений СКВ и систем холодоснабжения (СХС) корпуса, кроме наружных и внутренних параметров воздуха, явились тепловая и влажностная нагрузка залов и всего корпуса в целом, изменяющиеся во времени. Тепловыделения от различных источников определены по часам летних расчетных суток и просуммированы с учетом неодновременности во времени. В целом по помещениям корпуса: $SQ_{\text{изб}}^{\text{max}} = 240$ кВт (от 11 до 15 ч), из них люди - 25%, освещение - 20%, радиация - 55%. Анализ теплоизбытков в течение года, в том числе при прекращении теплоснабжения здания ($t_{\text{н}} \gg 8^0$ С) показал сильное изменение теплоизбытков и даже дефицит тепла ($q_{\text{уд}}^{\text{от}} = 12$ кВт/⁰С). Среднегодовые

теплоизбытки определены по сумме средних значений составляющих, переменности потока радиации и числа посетителей - около 100 кВт, что составляет 40% от расчетных летних.

В расчете учитывались влаговыделения людьми и влага, десорбируемая ограждениями корпуса в холодный период года ($Dd_{max} = 2$ г/кг). По этому важному для выбора решений СКВ и СХС, типу и температуре хладоносителя никаких кроме косвенных указаний в литературе не обнаружено. В поле i-d диаграммы были нанесены разные лучи процесса (при разной заполняемости, десорбции влаги, потоке радиации). На основе этих процессов предложены компенсирующие их процессы охлаждения-осушения рециркуляционного воздуха и его последующего нагревания.



Принципиальные решения СКВ корпуса приняты исходя из анализа соотношения расчетных теплоизбытков (240 кВт) и расхода наружного воздуха (3,3 кг/с). Малое отношение расходов $G_{н}/G_{пр}=0,12$ указало на целесообразность разделения кондиционеров по использованию наружного воздуха и процессам обработки воздуха в аппаратах кондиционера.

Одна группа кондиционеров (К1 и К2) обеспечивает очистку, нагревание и увлажнение (или охлаждение-осушение) наружного воздуха в объеме санитарной нормы $2 \cdot 5 \cdot 000$ м³/ч и подачу его в отдельные залы и буферные зоны. Другая группа кондиционеров, названных РОУ (рециркуляционно-охлаждающие установки с очисткой, нагревом, охлаждением-осушением и шумоглушением), подает воздух в смежные залы, разделенные на группы из двух-четырех помещений, разделенных по этажам и фасадам. Общее число РОУ для обслуживания выставочных залов второго этажа - 11, первого этажа - 3, их производительность по условиям ассимиляции расчетных тепловлаговывделений от 2 до 8 тысяч м³/ч. Некоторые РОУ дополнительно оснащены паровыми увлажнителями. Двухскоростные вентиляторы обеспечивают кратность воздухообмена в залах до $2,5-4$ ч⁻¹, средняя кратность $3,4$ ч⁻¹.

Принципиальные решения СХС, холодильные машины и баки-аккумуляторы холода выбраны с учетом максимального расхода холода $SQ_x=280$ кВт, расчетного суточного расхода холода $SQ_x \text{ сут} = 2000$ кВт·ч/сут, холода, запасаемого в баке-аккумуляторе каждой машины $SQ_x \text{ бака} = 2 \cdot 400$ кВт·ч/сут. Температура хладоносителя выбрана в теплое время года ($t_{в}=23^{\circ}\text{C}$; $j_{в}=45\%$, $t_{в \text{ росы}}=11^{\circ}\text{C}$, $t_{жн}=5^{\circ}\text{C}$, $t_{жк}=10^{\circ}\text{C}$) (по расчету зональных охладителей-осушителей). В случае, если возникнет необходимость обеспечить низкую влажность воздуха или в холодный период года при увеличении влагопоступлений, потребуются обеспечить более низкую температуру хладоносителя ($t_{жн}=0^{\circ}\text{C}$ и ниже), а в качестве рабочей жидкости используется 35% раствор этиленгликоля с расчетной температурой $t_{жн}=-10^{\circ}\text{C}$ (на выходе из испарителя) и $t_{жк}=10^{\circ}\text{C}$ (на выходе из воздухоохладителя). Большой перепад температур $Dt_{ж}=20^{\circ}\text{C}$ в системе холодоснабжения позволил максимально снизить объем баков-аккумуляторов $V_6=2 \times 23$ м³ и возможность обеспечить в каждой РОУ индивидуальный процесс охлаждения-осушения в зависимости от требуемой влажности и влагоизбытков в каждой зоне.

Две одинаковые одноконтурные холодильные машины фирмы Carrier (модель 30HWB) с водяным охлаждением конденсатора обеспечивают холодопроизводительность 2х89 кВт (при $t_{жн}=5^{\circ}\text{C}$) и около 2х38 кВт (при $t_{жн}=-10^{\circ}\text{C}$). Последнее близко требуемой холодопроизводительности =280 кВт в летних расчетных условиях, если учесть перепад температур $t_{жн}=-10^{\circ}\text{C}$, $t_{жк}=10^{\circ}\text{C}$ в сети холодоснабжения и $t_{жсм}=-5^{\circ}\text{C}$, $t_{жк}=10^{\circ}\text{C}$ у аппарата (абонента). При промежуточных теплоизбытках достаточно работы одной из водоохлаждающих машин. Для охлаждения конденсаторов холодильных машин использованы блоки сухого охлаждения (dry coolers) наружного исполнения. Летом в них происходит охлаждение жидкости, охлаждающей конденсатор, зимой при $t_{н}<-10^{\circ}\text{C}$ холодильная машина не включается, а жидкость вместо испарителя охлаждается холодным наружным воздухом в сухом охладителе, для чего предусмотрены переключения в схеме движения хладоносителя. Дополнительно приняты меры для предотвращения замерзания жидкости зимой за счет установки дополнительной перемычки с циркуляционным насосом, применения подогрева и плавного изменения скорости вращения вентиляторов.

Все воздухоохладители кондиционеров K1-K2 и POY1...POY14 присоединены к сети хладоносителя по схеме с подмешиванием. Это позволяет при необходимости иметь жидкость перед охладителем с переменной температурой $t_{жсм}=-10-5^{\circ}\text{C}$, что может потребоваться для поддержания разной влажности и необходимости переменного осушения воздуха. В состав местных контуров подмешивания традиционно входит циркуляционный насос, трехходовой регулирующий и обратный клапан, балансировочные клапаны, местные приборы контроля и др.

Места возможного размещения вентоборудования, холодильных машин, баков и трубопроводов определяются только после проведенного тщательного обследования вспомогательных помещений корпуса (подвала, чердака, пространства фонарей), определения их геометрических размеров, составления фактических планировок, оценки возможности установки оборудования на чердаке и в межфонарном пространстве за счет перераспределения массы на несущие конструкции. В результате этой работы определены места размещения вентоборудования (в основном во внутреннем пространстве фонаря), что позволило минимизировать длину трасс воздуховодов. Вытяжные вентиляторы, предназначенные для ассимиляции теплоизбытков от действия солнечной радиации в пространство светового фонаря, сосредоточены вблизи кондиционеров. Холодильные машины, баки-аккумуляторы холода и насосная станция устанавливаются в подвале, что минимизирует влияние вибрации, шумов, упрощается монтаж и дальнейшее обслуживание систем. Сухие охладители с минимально допустимыми акустическими характеристиками устанавливаются во дворе. Системы электрообеспечения и автоматического управления размещаются на чердаке.

Для обеспечения подогрева воздуха в СКВ на объекте не был предусмотрен свободный расход горячей воды. Заказчиком было предложено использовать электронагрев с ограничением по общему энергопотреблению 500-600 кВт одновременно. Эта мощность использовалась для нагревания, увлажнения, охлаждения-осушения и перемещения воздуха, перекачки жидкости в контуре хладоносителя. При выборе оборудования учитывалась типизация, максимальная надежность, минимальные габариты и масса, возможность поставки оборудования в разобранном виде при последующей сборке на объекте (с сохранением гарантии завода-изготовителя) и другие условия.

Система автоматического управления, регулирования и контроля параметров разработана с учетом установки свободно программируемых контроллеров фирмы Lanis&Siemens, позволяющих производить корректировку управляющей программы при пусконаладке

системы и ее эксплуатации. Версия программы подобрана с учетом установленной ранее на СКВ Академических залов и позволяет соединять контроллеры интерфейсным кабелем для централизованного управления всеми инженерными системами на объекте. Особое внимание уделено методике измерений температуры и влажности в залах, управлению по средним и сигнализации о крайних значениях.

Одновременно разрабатывается проект СКВ фондохранилища и реставрационных мастерских в Михайловском Дворце. После монтажа и наладки оборудования и систем будет уточнена эффективность предложенных решений.

Выводы:

1. Многочисленные залы корпуса Бенуа ГРМ образуют сложную связанную систему помещений с нестационарными и распределенными тепловыми, влажностными и воздушными балансами.
2. Основные принципиальные решения СКВ и СХС выбраны на основе необходимости индивидуального поддержания параметров воздушной среды, суточного и сезонного изменения тепло- и влаговыделений, а также многочисленных ограничений.

Сведения об авторах:

Кондрашов Сергей Юрьевич – генеральный директор ПИИ ЗАО «Кондиционер-Сервис», специалист по системам промышленной вентиляции и КВ. Выпускник кафедры КВ ЛТИХП, работал в лаборатории промвентиляции ВНИИОТ (г.Ленинград), в ЛО ГПИ «Проектпромвентиляция». С 1989г. – один из соучредителей совместного российско-шведского предприятия ЗАО «СовПлим». С 1995г. организовал и возглавил специализированную инженерно- коммерческую организацию ЗАО «Кондиционер-Сервис», включающую в себя отделы: технический, маркетинга, службу сервиса и др.

Фиршт Лев Абрамович – начальник технического отдела, инженер-механик-конструктор в области оборудования для систем вентиляции и кондиционирования воздуха, организатор инжиниринговых, проектных и наладочных работ одновременно на десятках объектов. Много лет работал в проектно-отделе ЛО ГПИ «Проектпромвентиляция», разработал много проектов СКВ и КВ.

Сотников Дмитрий Анатольевич – ведущий специалист технического отдела. Выпускник кафедры КВ ЛТИХП, работал по монтажу кондиционеров, оборудования операционной клиники в г.Н.Новгороде. С 1996г. работает в области инжиниринга СКВ в ПИИ ЗАО «Кондиционер-Сервис», проводил работы на ряде ответственных объектов промышленного и гражданского назначения.

*) Выбор принципиальных решений СКВ, СХС, САУ выполнен под руководством и непосредственном участии д.т.н., проф.А.Г.Сотникова – научного консультанта ПИИ ЗАО «Кондиционер-Сервис».