

Особенности конструкции системы вентиляции и кондиционирования Большого зала Московской консерватории им. П.И. Чайковского

М.А. Колосов — к.т.н., доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана, ведущий специалист по спортивным технологиям ООО «НПФ «ХИМХОЛОДСЕРВИС»

История Московской консерватории, главный корпус которой относится к памятникам архитектуры, насчитывает уже более 150 лет. В ходе недавней масштабной реконструкции здание было значительно модернизировано и расширено. Наряду с реконструкцией корпуса Московской консерватории была выполнена глубокая модернизация системы вентиляции и кондиционирования его Большого зала (БЗК).

История

В небольшом двухэтажном дворце княгини Е.Р. Дашковой, построенном архитектором Василием Баженовым, Московская консерватория поселилась с 1871 года. Сегодня на этом месте размещается главное здание Московской консерватории, жемчужиной которого является Большой концертный зал. С того времени было проведено несколько реконструкций этого комплекса зданий, самая масштабная из которых в 1891–1901 гг. по проекту архитектора Василия Загорского. Тогда главный корпус консерватории был полностью перестроен и приобрел свой современный вид.

Тогда же в здании консерватории была смонтирована передовая для своего времени система вентиляции и отопления внутренних помещений. Летом воздух закачивался с улицы специальными вентиляторами, закупленными в Англии, охлаждался артезианской водой и по каналам нагнетался во все помещения консерватории. В холодное время в здании функционировала воздушная система отопления, работающая от угольных печей.

В главном корпусе консерватории архитектором В. Загорским было спроектировано уникальное помещение Большого концертного зала

с отличной акустикой, вмещающее сегодня 1805 зрителей. На **рис. 1** представлен разрез главного корпуса консерватории и сечение Большого зала. Следует отметить новаторские качества отечественных специалистов, которые еще в XIX веке, при проектировании Большого зала Московской консерватории применили схему вытесняющей вентиляции, которая, как показала многолетняя практика, надёжно и эффективно работала все эти годы. За более чем столетнюю историю эксплуатации БЗК от зрителей в партере не было жалоб на духоту, дутье или другие неблагоприятные факторы.

В сечении консерватории (рис. 1) хорошо видны особенности конструкции БЗК. Под залом устроено просторное помещение (4) с потолками высотой 2,13 м (одна сажень), которое занимает камера постоянного статического давления. Сюда, после предварительной обработки, нагнетается свежий воздух. Через специальные отверстия в полу партера, под креслами, этот воздух равномерно поступал в зал (1), непосредственно в область пребывания публики. Подобные камеры сегодня устроены под обоими амфитеатрами, а на балконы свежий воздух подаётся через каналы под фальшполом. Сегодня эти камеры к тому же эффективно выполняют роль концевых

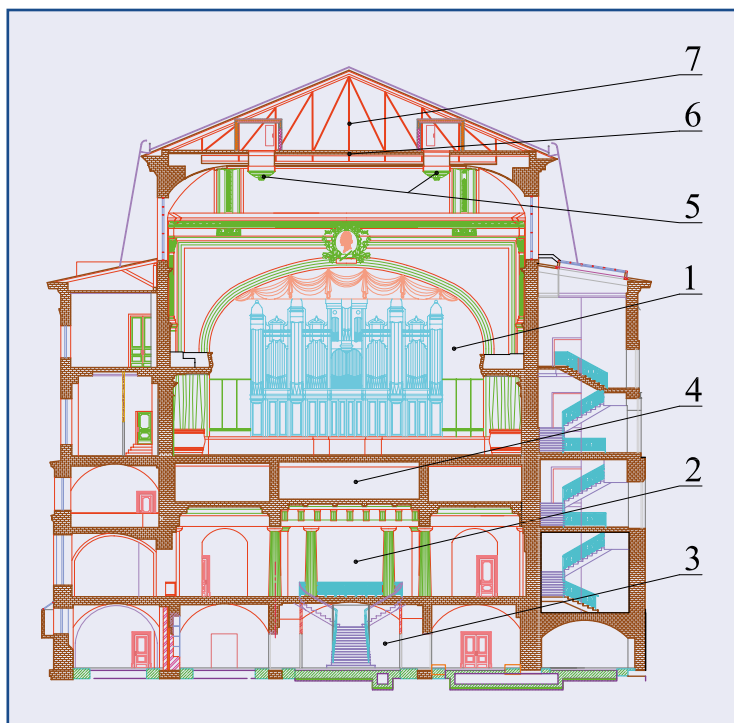


Рис. 1. Сечение главного корпуса консерватории и Большого концертного зала:

1. Большой зал
2. Вестибюль Большого зала
3. Нижний холл Большого зала
4. Камера постоянного статического давления
5. Подвесной потолок зала с розетками, выполняющими роль вытяжных решеток
6. Капитальный потолок зала
7. Чердак с размещёнными в нем вытяжными агрегатами

глушителей. Таким образом авторы этого проекта реализовали схему регулярной вытесняющей вентиляции на всем пространстве БКЗ.

Помещение Большого зала украшено подвесным потолком (5), который формирует акустику зала, придавая звуку объёмность, и служит важным декоративным элементом внутреннего убранства, скрывая капитальные перекрытия. В первоначальном проекте 1901 года, вытяжка загрязненного воздуха осуществлялась только через пять решёток, выполненных в виде розеток (5) на подвесном потолке в тыльной части зала. По современным санитарным нормам этого недостаточно для вентиляции зала. Поэтому теперь на подвесном потолке равномерно разместили восемь решёток. Через эти решётки (5) потоки загрязненного, тёплого воздуха поступали в межпотолочное пространство, откуда отсасывались вентиляторами вытяжных агрегатов на чердаке (7). Таким образом, потолок служит не только важным декоративным элементом, но и

является важным элементом системы вентиляции, направляя потоки загрязненного воздуха к вытяжным устройствам и эффективно подавляет, издаваемый ими шум.

За прошедшие годы система вентиляции и отопления Большого зала консерватории устарела, изменились требования к качеству приточного воздуха, мощности и энергоэффективности систем. В летние месяцы, например, дирекция консерватории вынуждена была отказываться от проведения концертов, т.к. система охлаждения зала не справлялась с тепловыми нагрузками. Находясь сегодня в центре мегаполиса, консерватория оказалась в условиях плотной городской застройки и лишилась источников свежего воздуха и артезианской воды для летнего кондиционирования. Кроме того, консерватории для эффективного выполнения функций вуза и популярной концертной площадки не хватает площадей.

Особенности и проблемы Большого зала консерватории

При возведении этого зала были применены технические решения, передовые не только для того, но и для нашего времени. Главной особенностью Большого зала является наличие под ним просторной камеры постоянного давления. Свежий воздух поступал в зал из этой камеры через специальные отверстия под каждым креслом. Таким образом, в зоне пребывания зрителей реализовывалась вытеснительная схема вентиляции. В новом проекте эта конструкция подачи свежего воздуха в зал была сохранена, только дополнена современными кондиционерами и распределительными устройствами. Одним из требований реконструкции было условие, что система вентиляции и кондиционирования не должна влиять на уникальные акустические характеристики зала, что предопределило исключительно высокие требования по шуму.



Предварительный анализ системы вентиляции Большого зала выявил ряд связанных с ней проблем, существовавших уже на протяжении многих лет. Зал заметно обветшал, так что несколько зрительских рядов под амфитеатром были просто закрыты для публики. Система вентиляции и кондиционирования имела недостаточную мощность и в летние месяцы не обеспечивала санитарные нормы по всем параметрам (температура в зале нередко превышала +35 °С).

В области переднего края сцены наблюдался заметный сквозняк и повышенная циркуляция воздуха. Поэтому при сольных выступлениях приходилось снижать или даже полностью отключать подачу воздуха на сцену. Служба эксплуатации поставила перед проектировщиками задачу разработать схему подачи воздуха на сцену без сквозняков.

В первоначальном проекте, сделанном В. Загорским, вытяжка загрязненного воздуха осуществлялась через четыре вытяжные решетки, выполненные в виде розеток на подвесном потолке в тыльной части зала. При современных санитарных нормах это стало недостаточно и на подвесном потолке, ближе к сцене, вместе с люстрами были размещены еще четыре решетки. Весь вытяжной воздух, поступающий через восемь розеток, собирался за потолком, под перекрытием зала и удалялся вытяжными устройствами. В рамках моделирования стояла задача

проверить влияние такой схемы вытяжки на условия вентиляции.

На сцене, по наблюдениям службы эксплуатации, часто была пониженная влажность, что приводило к пересыханию деревянных конструкций большого органа и негативно сказывалось на его акустических характеристиках. Чтобы избежать этого, в проекте был предусмотрен специальный кондиционер с расширенной областью регулирования влажности и требовалось проверить, как изменится влажность в зоне большого органа.

Кроме того, во всех крупных архитектурных объемах, как свидетельствует практика, формируются сильные вихревые потоки воздуха. В Большом зале такие вихри могут не только повлиять на условия комфорта для людей, но и изменить акустику зала и инструментов, повлиять на восприятие музыкального произведения слушателями.

При реконструкции зала на сцене было размещено новое мощное осветительное и акустическое оборудование, что увеличило тепловую нагрузку на это пространство.

Интерьеры и архитектурный облик зала являются объектом исторической охраны и элементы систем вентиляции и кондиционирования не должны были изменить внешний облик этого помещения. Кроме того, множество каналов, проложенных в стенах для старой системы вентиляции, следовало использовать при разводке и размещении элементов новой системы.

Проект реконструкции

К 150-летию юбилею Московской консерватории, который отмечался в 2016 году, правительством России была инициирована масштабная программа комплексной реконструкции и расширения этого учебного заведения, являющегося также памятником архитектуры. В рамках этой программы к лету 2011 г. была закончена реконструкция главного корпуса консерватории: здания усилены железобетоном, построены подземный гараж и инженерный блок, заменены кровля и коммуникации, восстановлены фасад и исторические интерьеры помещений, картины, мебель и т.д. Во всех помещениях консерватории впервые смонтированы системы сигнализации, кондиционирования, вентиляции, что, однако, существенно увеличило энергонасыщенность

здания. Впервые со дня создания Большого зала в нём была проведена полная реконструкция, наряду с которой было запланировано новое строительство, значительно увеличивающее площади консерватории.

По своему масштабу и сложности проект систем кондиционирования и вентиляции всех учебных и вспомогательных помещений основного корпуса можно смело отнести к исключительно сложным. Только для Большого зала и прилегающих к нему помещений было смонтировано примерно 15 центральных кондиционеров различной производительности и свыше двух десятков вытяжных и вентиляторных установок.

Для подготовки воздуха, поступающего в партер и на амфитеатры Большого зала, были смонтированы два центральных кондиционера производительностью по 30 тыс. м³/ч, позволяющие круглогодично обрабатывать приточный воздух. В зависимости от внешних условий они проводят многоступенчатую обработку воздуха: фильтрацию, первичный и вторичный подогрев, увлажнение и охлаждение. Встроенные воздухоохладители мощностью по 220 кВт, к которым от холодильных машин поступает водный раствор гликоля, могут охлаждать воздух до 3,2 °С, обеспечивая его глубокую осушку. В приточную и вытяжную секции кондиционеров встроены гликолевые контуры регенерации теплоты вытяжки, которые в холодное время используются для первичного подогрева наружного воздуха без затрат энергии. Быстроходные вентиляторы с частотным регулированием позволяют плавно регулировать производительность кондиционеров. Воздухораспределительные решётки создают шум не свыше 17-22 дБ, обеспечивая высокие требования акустики. Система вентиляции и кондиционирования Большого зала позволяет круглогодично обеспечивать комфортные условия зрителей и музыкантов.

За основу новой схемы организации воздухообмена в БКЗ проектировщиками был взят проект инженера Г.С. Войницкого, только была увеличена удельная, на одного человека, подача свежего воздуха в зал, изменена схема подготовки приточного воздуха, особенно летом, и увеличено до восьми число вытяжных решёток на потолке. На этапе проектирования много вопросов у архитекторов и проектировщиков возникло



к процессам теплообмена, вентиляции и кондиционирования, подачи и удаления воздуха в Большом зале. Для ответа на эти вопросы еще на этапе разработки проекта реставрации сотрудниками Бауманского университета совместно с санитарно-техническим отделом ГУП «Моспроект-4» было выполнено специальное исследование и моделирование.

Проанализировав на модели качество процессов вентиляции и кондиционирования зала, их соответствие современным требованиям санитарных норм к общественным залам, были и реализованы ряд предложений по корректировке системы подачи воздуха на сцену, системы вытяжки из зала и т.д.

Подача воздуха в зал и распределительные устройства

При проведении реконструкции архитекторы и строители много усилий и мастерства затратили для сохранения исторического облика зала и его акустических характеристик. Например, ограниченная площадь зала и высокие требования по шуму серьезно лимитировали индивидуальный расход воздуха через решётки и создали серьезные сложности в размещении их необходимого числа. Метод подачи и распределения воздуха в зал и его отвода из зала, как показали расчеты, существенно влияют на распределение температуры и скорости воздуха.

Свежий воздух с температурой примерно +17 °С подаётся снизу, из камеры постоянного давления. При этом приточный воздух имеет большой запас хладопотенциала. Под креслами зрителей размещены специальные воздухо-распределительные решётки с вихревым выравниванием температуры воздуха. Это позволило соблюсти санитарные нормы в зоне обслуживания. В них поступающий охлажденный воздух смешивается с воздухом из нижней зоны помещения, что позволяет выдерживать на нижней границе зоны нахождения людей комфортную температуру, соответствующую нижним сезонным значениям, т.е. 23 – 24 °С летом. При этом разность температур в зоне нахождения людей не превышала 5 °С.

Принцип вихревого выравнивания температуры воздуха заключается в том, что свежий приточный воздух, который подаётся снизу, закручивается в решётке и втягивает, инжектирует в свой вихревой поток тёплый воздух из помещения (см. рис. 2). Поэтому наружный воздух, охлаждённый в приточных агрегатах до низких температур, не нарушает условия комфорта на нижней границе зоны пребывания зрителей. Например, при температуре воздуха в зале 26 °С и температуре приточного воздуха 20 °С, что несколько ниже комфортной температуры для летних условий, выбранные вихревые решётки обеспечивают температуру после смешения 23,4 °С, что вполне комфортно для зрителей. Пропорционально этому возрастает объём охлаждённого воздуха, непосредственно охлаждающего тело человека, что создаёт предпосылки для ограничения роста температуры в зоне пребывания людей. Скорость воздуха после решёток составляет примерно 0,13...0,2 м/сек, что обеспечивает для зрителей комфортные условия объемного охлаждения. А главное, шум от решёток ниже 18 — 20 дБ(А), что отвечает строгим требованиям по шуму даже для этого концертного зала.

В качестве распределительных устройств были использованы горизонтальные и вертикальные напольные решетки фирмы TROX. В результате вихревого эффекта решетки выравнивали температуру воздуха в зоне смешения. На рис. 2 приведена схема такого диффузора и показан принцип смешительного выравнивания температуры воздуха. Всего в партере и амфитеатре было размещено 837 напольных решеток

с производительностью 43 м³/ч и 12 решеток в ложах партера с производительностью 65 м³/ч. На амфитеатрах и балконах использовались решетки производительностью 47 м³/ч, которые размещались на вертикальной поверхности лавок. Режим работы решеток и расход через них подбирались с учетом жестких ограничений по шуму. Суммарно все решетки на номинальном режиме обеспечивали подачу в зал свыше 60 тыс. м³/ч свежего воздуха.

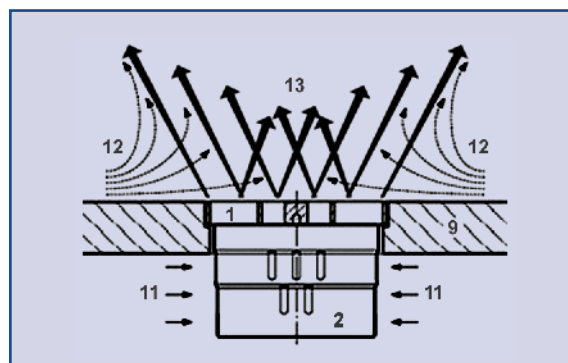


Рис. 2. Схема и принцип работы инжекционной напольной решетки с горизонтальной раздачей воздуха

Температура приточного воздуха в зал от основных кондиционеров принималась равной 20 °С, давление 754 мм рт. ст. (100600 Па). Внизу приточный воздух смешивался с воздухом из зала, температура которого 26 °С, и нагревался до 23,4 °С. Это создавало условия для комфортного объемного охлаждения зоны лодыжек зрителей, обеспечивало низкую скорость воздуха (0,13...0,21 м/с) и создавало предпосылки для ограничения градиента температуры по высоте зоны обитания. А главное, при этих условиях распределители TROX создавали шум ниже 18 — 20 дБ, что отвечало самым строгим требованиям для концертных залов.

В пространстве БЗК можно выделить три характерные зоны, отличающиеся схемой вентиляции и подачи свежего воздуха и, следовательно, закономерностями формирования скорости и температуры воздуха: зона сцены; зона партера и зона амфитеатров и балконов.

При кондиционировании зала наибольшее напряжение складывается, как показало моделирование, при концертном варианте эксплуатации, когда на сцене присутствует оркестр из 100 человек, работают все акустические и технологические устройства на сцене и в зале, концертное

освещение на сцене при выключенном верхнем освещении в зале.

При этом суммарные тепловыделения в зале достигали 320 кВт и поэтому дальнейшее проектирование и математическое моделирование выполнялось в основном применительно к этому режиму.

Вытяжка воздуха из зала выполняется сверху, через 8 розеток в потолке, размещёнными за люстрами (см. рис. 1). Положение и размеры вытяжных отверстий выбирались с учетом результатов математического моделирования.

На сцену свежий воздух поступал от отдельного кондиционера, и раздача его первоначально производилась через 12 направляющих диффузоров (сопел) единичной производительностью 500 м³/ч, размещенных по 6 штук с каждой стороны сцены. Всего поэтому варианту на сцену подавалось 6000 м³/ч свежего воздуха. Еще на этапе предварительного анализа были отмечены серьезные недостатки, присущие этой схеме подачи воздуха. Как уже отмечалось выше, на сцене во время выступлений наблюдался заметный сквозняк, и исполнители, особенно солисты, находящиеся близко к краю сцены, испытывали заметный дискомфорт. По результатам моделирования был принят вариант подачи свежего воздуха на сцену через 6 распределительных решеток. При этом была решена задача оптимизации положения и высоты размещения этих решеток.

По новому проекту на сцене было размещено много мощного оборудования, суммарные тепловыделения от которого в совокупности с тепловыделениями от исполнителей могут до-



Рис. 3. Большой симфонический оркестр на сцене БЗК

стигать ста киловатт. Значительная часть этого тепла падает на поверхность сцены, что, с учётом ограниченности этого пространства, приводит к большим удельным нагрузкам. На фото (рис. 3) на сцене БЗК можно видеть большой симфонический оркестр, число исполнителей в котором может превышать 100 человек.

Дополнительно специальные требования по влажности воздуха и условиям кондиционирования предъявлялись к пространству большого органа. Поэтому для кондиционирования пространства сцены и большого органа был предусмотрен специальный кондиционер с расширенной областью регулирования температуры и влажности, например, температура приточного воздуха в нём могла понижаться до +15 °С.

По результатам моделирования на боковых стенах сценического пространства в определённом порядке размещались распределительные решетки, имеющие допустимые начальные скорости, параллельно была понижена подача свежего воздуха до 3000 м³/ч и температура приточного воздуха до 17 °С, что в совокупности позволило обеспечить комфортные условия на сцене.

Решётки размещались по три на боковых стенах сцены и положение их оптимизировалось по условию снижения средней скорости воздуха на сцене. Было размещено шесть решёток производительностью по 464 м³/ч, что в сумме ниже максимальных санитарных требований по этому пространству. Однако на сцене редко одновременно собирается по сотне исполнителей и включается всё техническое оборудование и поэтому тепловыделения не достигают своих максимальных значений. К тому же условия вентиляции сцены сильно связаны с условиями в зале и, как показали дальнейшие исследования, снижение температуры приточного воздуха позволило компенсировать снижение общей подачи воздуха и обеспечили на сцене комфортные условия для исполнителей.

Можно сказать, что после реконструкции Большой зал консерватории впервые получил полноценную систему кондиционирования и вентиляции, которая позволяет круглогодично обеспечивать комфортные условия пребывания людей. При реконструкции Большого зала сохранились его исторический вид и уникальная акустика.