

Эффективные инженерные методы решения инвестиционных проектов

А. О. Шаршун, директор по проектированию ООО «Фан Дженерейшен»

Е. Н. Болотов, генеральный директор ООО «ВАК-инжиниринг», председатель комитета НП «АВОК»

Г. К. Осадчий, генеральный директор ООО «МАКСХОЛ технолоджиз», эксперт подкомитета № 14 технического комитета по стандартизации ТК 465 «Строительство»

Ключевые слова: проект, CFD-моделирование, раздача приточного воздуха, холодоснабжение, тепловые нагрузки, холодильные нагрузки

Заказчик-застройщик на стадии предварительных предпроектных решений определяет будущий статус проектируемого объекта: продажа, аренда или управление объектом собственными силами. Последний вариант представляет наибольший интерес для профессионального специалиста – разработчика комплекса инженерных систем здания, в отличие от специалистов в области архитектуры, дизайна или конструкторских решений. Именно в последнем случае в большей степени приветствуются решения, сочетающие создание комфортных, оптимальных условий для посетителей и обеспечение технологического процесса эксплуатации объекта при достижении максимальной энергоэффективности функционирования инженерных систем в сочетании с обязательными минимальными первоначальными инвестициями.

Наличие оптимального решения, безусловно, важно для всех категорий зданий, но в большей степени это относится к многофункциональным общественным центрам, в полной мере насыщенным дорогостоящими инженерными системами обеспечения комфортного внутреннего микроклимата со значительным потреблением энергетических ресурсов.

На площадке ММДЦ «Москва-Сити» в стадии реализации находится многофункциональный киноконцертный зал с расширенными функциями. Объект уникален по многим параметрам. На общей площади в 45 тыс. м² размещены: развлекательные и спортивный бассейны, тренажерные залы, номера пятизвездочной гостиницы, ресторан авторской кухни и другие предприятия общепита,

косметический салон, выставочный зал и конгресс-холл, офисы управляющей компании и другие зоны различного назначения. Однако центральным элементом всего комплекса является многофункциональный трансформируемый зал (МТЗ) на восемь тысяч посетителей с раздвижным куполом для проведения концертов, уникальных музыкальных шоу с использованием водных аттракционов ввиду

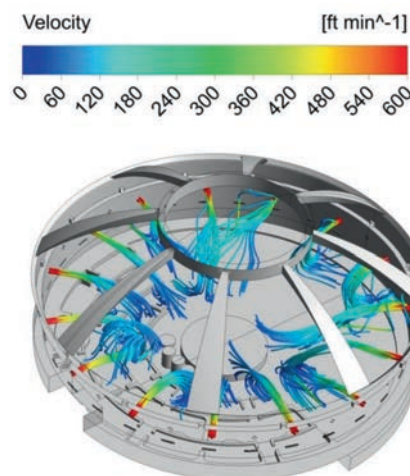
наличия развлекательных бассейнов, закрываемых передвижными платформами при максимальном заполнении посетителями зала. Предусмотрено более 20 режимов функционирования зала, от активного пляжного отдыха до концертного, естественно, при разном расчетном заполнении посетителями, различной интенсивности тепло- и влагопоступлений и, как следствие, с переменной организацией воздухообмена.

CFD-моделирование воздушного режима зала

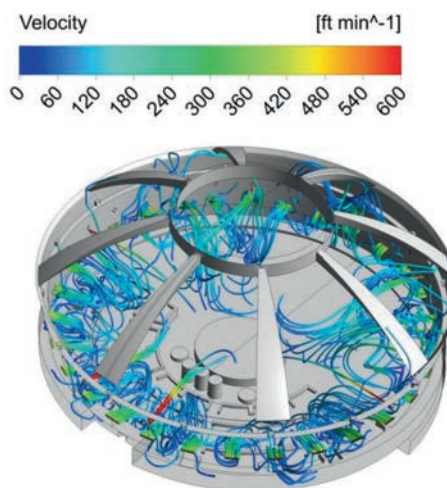
При разработке технической концепции зала использован и применен уникальный зарубежный опыт решения аналогичных задач. CFD-моделирование воздушного режима для различных режимов выполнено американской компанией Price Industries Ltd (США) с получением полей температуры, влажности, подвижности внутреннего воздуха и расчетом индекса комфортности по методике Фангера. Данный показатель определяет среднее восприятие тепла большой группой людей на основании семибальной шкалы восприятия тепла ASHRAE (стандарт ASHRAE 55–2010). Он объединяет различные условия окружающей среды, включая температуру, влажность, скорость воздуха и среднюю радиационную температуру, с человеческими факторами, например с одеждой и выделением метаболического тепла для создания единого параметра комфортности. Допустимые предельные значения, установленные ASHRAE для данного индекса, находятся в оптимальном диапазоне $-0,5 < PMV < 0,5$.

Зал имеет возможность трансформации и за счет различных вариантов размещения передвижных платформ в соответствии с различными эксплуатационными форматами: концертные режимы с переменным числом посетителей, дискотека, пляжный клуб и другие. Раздача приточного воздуха решена соплами и щелевыми диффузорами по радиусу пространства с вытяжкой, расположенной ниже основания купола (рис. 1, 2). В расчетах учитывались конвективные и радиационные нагрузки от людей и окружающей среды.

По итогам CFD-моделирования выбрана оптимальная организация подачи и удаления воздуха из зала. Для различных режимов функционирования определены расходы приточного воздуха и его параметры, алгоритмы управления, и сформирована первичная программа производства натуральных испытаний с симуляцией тепловлажностного режима.



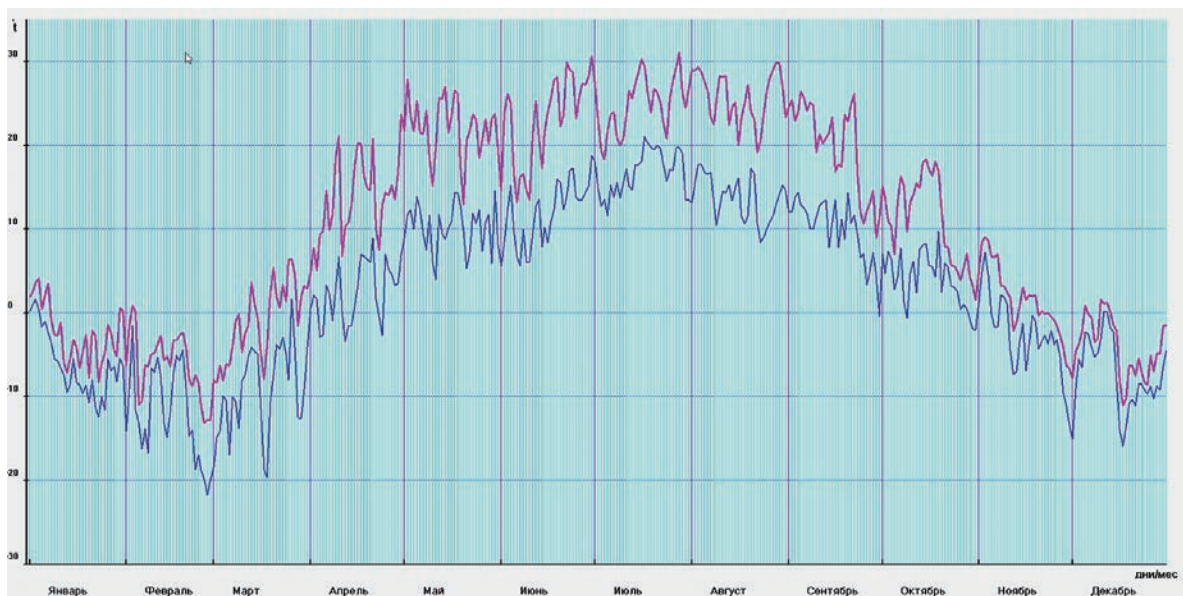
■ Рис. 1. Скоростные линии, показывающие схему воздушных потоков от форсунок



■ Рис. 2. Скоростные линии, показывающие схему воздушных потоков от щелевых диффузоров

Оптимизация нагрузок

Частота проведения концертных мероприятий с численностью до восьми тысяч посетителей составляет всего четыре мероприятия в теплый период (лето) и четыре зимой. Соответственно, пиковое потребление тепловой и холодильной мощности климатическим оборудованием крайне редко и составляет четыре цикла «тепло – холод» за год. Прочие режимы функционирования МТЗ характеризуются меньшим энергопотреблением в 2 раза и более от максимального расчетного. Поиск совместно с заказчиком оптимального алгоритма функционирования остальных помещений многофункционального комплекса с целью минимизации нагрузок на краткосрочный концертный период



■ Рис. 3. Дневные и ночные температуры воздуха за 2018 г.

работы МТЗ является эффективной предпосылкой сокращения суммарных тепловых, холодильных, а значит, и электрических установленных мощностей.

Тепловые и холодильные нагрузки определяются прежде всего расходом приточного наружного воздуха исходя из числа посетителей и режима функционирования с учетом допустимого по санитарной норме минимального объема наружного воздуха исходя из активности посетителей (танцевальный формат, пляжный клуб в развлекательных бассейнах или спокойное состояние посетителей в концертном формате) и обоснованностью исходных расчетных параметров как первичного наружного, так и конечного внутреннего воздуха в рабочей зоне и удаляемого. Снижение расчетной температуры с 28 °С на 2 °С при охлаждении приточного воздуха до 18 °С дает экономию приблизительно до 20 %.

Для обоснования расчетных параметров наружного воздуха для МТЗ был выполнен анализ значений и частоты повторяемости предельных температур (максимальных для определения холодильной нагрузки и минимальной для тепловых) за последние несколько лет для условий Москвы.

Ход движения температур дневной (верхний) и ночной (нижний) наружного воздуха за прошедший 2018 год представлен на рис. 3.

Для большинства дней перепад дневной и ночной температур в теплый период года составляет до 10 °С. По результату анализа климатологии за прошедшие годы при началах концерта в 19 часов вечера, с учетом коэффициента обеспеченности 0,98, расчетная

температура наружного воздуха была снижена на 4 °С с дополнительным обоснованным снижением расчетной нагрузки на холодильный центр.

Основным потребителем электроэнергии комплекса, естественно, является система холодоснабжения – холодильный центр. По расчетам, выполненным в классическом формате составления воздушно-тепловых балансов в соответствии с имеющейся практикой и, безусловно, с действующими нормативными документами, включая СП 60.13330.2016 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха», так как проектная документация проходила согласование с государственной экспертизой, расчетная холодильная нагрузка составила 5,5 мВт. Расчет был основан на принятых в техническом задании расчетных климатических параметрах наружного и внутреннего воздуха, назначении помещений, расчетной численности людей. Итоговая нагрузка складывалась из показателей по отдельным помещениям с введением дежурного (обычно 0,85) коэффициента одновременности без его дальнейшего обоснования.

Рассмотрим отдельные дополнительные составляющие оптимизации (снижения) холодильных нагрузок.

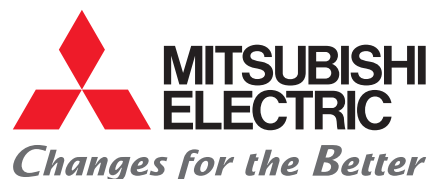
Следует обратить внимание, что предельная численность посетителей в здании исходя из условий пожарной и общей безопасности ограничена и, как правило, меньше суммарной численности из расчетной таблицы балансов. Соответственно, сохраняя расчетную мощность концевых охлаждающих элементов (фэнкойлов или балок), можно обоснованно ограничить максимальные расчетные холодильные

(и тепловые) нагрузки предельной численностью людей и перейти на систему холодоснабжения (теплоснабжения) с управляемым (контролируемым) переменным расходом. Как контролировать – рассмотрим ниже по тексту.

В многофункциональном комплексе, в отличие, например, от классического офисного здания, численность находящихся посетителей – величина всегда переменная и зависит от времени суток, дней недели (выходные), времени года, наличия посещаемых выставок и прочих факторов. При этом многофункциональный центр объединяет помещения различного назначения с различным режимом функционирования. Технические помещения, такие как кроссовые, функционируют круглосуточно. Арт-галерея имеет пиковые режимы в зависимости от программы выставок. Рестораны, тренажерные залы и др., в отличие от офисных зон, имеют четко выраженные режимы: утренний, дневной и вечерний (пиковый). Отличается численность посетителей в зависимости от дней недели: рабочие, выходные, праздничные дни. Различается время пребывания посетителей во входной зоне, раздевалках и непосредственно в тренажерных залах. Возникает обоснованный вопрос: как определить суммарную охлаждающую мощность для данной связки помещений с учетом наличия для большинства посетителей постоянных абонементов? Необоснованно принимать расчетную нагрузку на систему холодоснабжения или общую расчетную численность посетителей как сумму отдельных нагрузок (числа посетителей) во входной зоне (холлах и коридора) + раздевалки + собственно тренажерные залы.

Основными вредностями для здания общественного назначения являются поступление тепла и влаги от людей и охлаждение (нагрев) наружного приточного воздуха. С учетом постоянного изменения общего числа посетителей в различных зонах комплекса, соответственно, меняется и текущее холодопотребление. Пример такой зависимости представлен на **рис. 4**.

Как видно из **рис. 4**, основной интервал времени приходится на холодильную нагрузку, не превышающую 30 % от расчетной. При неполной загрузке посетителями зрительного зала МТЗ достаточно двух холодильных машин из установленных трех, и только на период проведения не столь частых мероприятий в жаркий, летний период с максимальной расчетной температурой наружного воздуха и предельной численностью восемь тысяч посетителей требуется максимальная расчетная холодильная мощность. Как следствие сказанного, оптимальная схема функционирования холодильного центра основана на



РАСШИРЯЕТ СВОЮ ПРОДУКТОВУЮ ЛИНЕЙКУ ОБОРУДОВАНИЕМ CLIMAVENETA



A Group Company of MITSUBISHI ELECTRIC

Climaveneta — европейский лидер в сфере кондиционирования, отопления и вентиляции с 40-летней историей.

С 2015 года компания входит в состав Mitsubishi Electric Corporation

aircon@mer.mee.com



■ Рис. 4. Изменение холодопотребления в течение суток

постоянной работе одной установки, в том числе и в ночной период для поддержания заданных параметров воздуха в электропомещениях, серверных, прачечных, номерах гостиницы. Соответственно, в проекте реализована схема с переменным расходом холодоносителя с последовательным включением (выключением) холодильных установок и циркуляционных насосов.

В состав комплекса входят кондиционируемые помещения с различными требованиями, в том числе по допустимой необеспеченности расчетных параметров внутреннего воздуха. Для многофункционального зала, элитных номеров гостиницы, VIP-помещений приняты системы кондиционирования первого класса со средней необеспеченностью 100 ч в год при круглосуточной работе или 70 ч/г при односменной работе в дневное время. Для прочих помещений с системами кондиционирования второго класса коэффициент необеспеченности составляет в среднем 250 ч/г при круглосуточной работе. При этом в расчетах учитывается и различие в расчетных параметрах наружного воздуха для разных классов. Соответственно, построение системы холодоснабжения реализует алгоритм перераспределения холодильной мощности в пользу потребителей первой категории, включая и 100 %-ное резервирование с мониторингом текущей холодильной нагрузки для остальных в пределах установленного класса. Понятно, что и для помещений второго класса параметры внутреннего воздуха не должны выходить за допустимые пределы. Определение коэффициента обеспеченности для данного типа общественного здания является функцией заказчика. Выбор коэффициента в диапазоне 0,996–0,920 в значительной степени определяет и расчетные нагрузки,

и, соответственно, стоимость реализации инженерных систем.

Заключение

Для принятия обоснованного решения по расчетной мощности холодильного центра для многофункционального комплекса, включая и резервирование оборудования для систем кондиционирования 1-го класса, необходимо выполнить комплексное динамическое моделирование одновременной работы всех систем с моделированием (имитацией) для разных режимов функционирования комплекса в условиях критических температур (энтальпии) наружного воздуха и сочетаний вариантов численности посетителей и персонала. Для большинства помещений (зон) коэффициент загрузки в дневное время принят 0,5 при максимальном коэффициенте 1,0 в вечернее время. Следует принять во внимание, что максимальные температуры наружного воздуха наблюдаются в Москве в июле при сезонном снижении посетителей на период летних отпусков.

При работе над проектом использованы современные методы решения инженерных задач, включая CFD-моделирование, комплексное моделирование функционирования систем с получением технических показателей и обоснованием коэффициента обеспеченности для разных категорий помещений, анализ климатических параметров наружного воздуха для зон и отдельных помещений, где максимальные нагрузки достигаются в вечернее и ночное время.

В итоге, реализуя предложенные решения, на данном проекте удалось снизить расчетную мощность холодильного центра с 5,5 до 2,8–3,0 мВт, сохраняя изначально заданный уровень надежности в обеспеченности расчетных условий.

Применение современных методов проектирования, включая цифровые технологии для многофункционального комплекса, для которого характерны как различные режимы работы по времени суток, продолжительности, расчетным параметрам внутреннего и наружного воздуха, так и различные требования по степени обеспеченности этих параметров, позволяет с использованием систем с переменным расходом тепло- и холодоносителя воздуха, реализуя управляющие алгоритмы для механических систем, существенно снизить тепловую, холодильную и электрическую нагрузку на ЦТП (ИТП), холодильный центр, венткамеры, а также минимизировать площади под технические помещения и значительно снизить стоимость реализации проекта. □