

Создание комфортного микроклимата

Задачи современного проектирования



Реализация проектов высотных зданий, а это, как правило, современные многофункциональные комплексы, требует создания систем комфорта кондиционирования с поддержанием оптимальных параметров внутреннего воздуха с повышенным коэффициентом обеспеченности. Однако практика применения современных фасадных конструкций с повышенным, а иногда и 100%, остеклением, приводит к возникновению экстремальных условий для систем комфорта кондиционирования, способствующих нарушению заданных параметров внутреннего режима.

Текст ЕВГЕНИЙ БОЛОТОВ, генеральный директор ООО «ВАК-инжиниринг»

Для оценочных расчетов холодильной нагрузки в офисных зданиях часто используют удельную величину поступления тепла в размере 100 Вт/м². В таблице 1 представлен экспресс-расчет обоснования указанной величины для стандартных условий офисных помещений, ориентированных по разным сторонам света, при 40% остеклении наружных ограждающих конструкций.

Для разноориентированных фасадов удельная нагрузка варьируется от 65 Вт/м² до 125 Вт/м², при этом доля тепла от солнечной радиации составляет от 23 до 50 %.

При увеличении процента остекления наружных фасадных конструкций соответственно растет и величина теплопоступлений от солнечной радиации. При остеклении до 80% удельная величина теплопоступлений возрастает до 150 Вт/м². Расчет обоснование представлен в таблице 2.

Таблица 1. РАСЧЕТ ПОСТУПЛЕНИЯ ТЕПЛА ОТ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ. ОСТЕКЛЕНИЕ 40%

Ориентация по сторонам света	ЮЗ	С	Ю	З/В
Площадь офиса, м ²	500	500	500	500
Численность персонала, чел.	63	63	63	63
Поступление тепла от людей, кВт	9,2	9,2	9,2	9,2
Поступление влаги от людей, кг/ч	5,9	5,9	5,9	5,9
Поступление тепла от компьютеров, кВт	15,6	15,6	15,6	15,6
Поступление тепла от освещения, кВт	12,5	12,5	12,5	12,5
Расход приточного воздуха, м ³ /ч	3750	3750	3750	3750
Длина по фасаду, м	40	40	40	40
Ширина офиса, м	12,5	12,5	12,5	12,5
Высота офиса, м	3,1	3,1	3,1	3,1
Площадь остекления, м ²	49,6	49,6	49,6	49,6
Удельные поступления тепла через остекление, Вт/м ²	555,8	151,1	389,5	746,77
Поступление тепла от солнечной радиации, кВт	27,6	7,5	19,3	37,0
Суммарные поступления тепла, кВт	52,4	32,3	44,1	61,8
Удельные поступления тепла, Вт/м ²	105	65	88	124
То же, средние по фасадам, Вт/м ²			100	

Таблица 2. РАСЧЕТ ПОСТУПЛЕНИЯ ТЕПЛА ОТ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ. ОСТЕКЛЕНИЕ 80%

Ориентация по сторонам света	ЮЗ	С	Ю	З/В
Площадь офиса, м ²	500	500	500	500
Численность персонала, чел.	63	63	63	63
Поступление тепла от людей, кВт	9,2	9,2	9,2	9,2
Поступление влаги от людей, кг/ч	5,9	5,9	5,9	5,9
Поступление тепла от компьютеров, кВт	15,6	15,6	15,6	15,6
Поступление тепла от освещения, кВт	12,5	12,5	12,5	12,5
Расход приточного воздуха, м ³ /ч	3750	3750	3750	3750
Длина по фасаду, м	40	40	40	40
Ширина офиса, м	12,5	12,5	12,5	12,5
Высота офиса, м	3,1	3,1	3,1	3,1
Площадь остекления, м ²	99,2	99,2	99,2	99,2
Удельные поступления тепла через остекление , Вт/м ²	555,8	151,1	389,5	746,7
Поступление тепла от солнечной радиации, кВт	55,1	15,0	38,6	74,1
Суммарные поступления тепла, кВт	79,9	39,8	63,5	98,9
Удельные поступления тепла, Вт/м ²	160	80	127	198
То же, средние по фасадам, Вт/м²			151	

При общем существенном росте необходимой холодильной мощности для компенсации пиковых значений поступления тепла от солнечной радиации в зонах, примыкающих к наружным фасадам, целесообразно устройство дополнительных периметральных систем охлаждения, которые могут быть объединены с системой отопления посредством современного оборудования типа напольных конвекторов (рис. 1).

Следует отметить, что при общем повышении теплотехнических показателей современных фасадных конструкций их термическое сопротивление, например при 100% остеклении, меньше нормативной величины, требуемой для наружной ограждающей конструкции, защитные теплотехнические функции которой она, собственно, и выполняет. В любом случае мы имеем рост потерь тепла через ограждающие конструкции и, соответственно, увеличение нагрузки на систему отопления здания.

Оптимальные параметры микроклимата подразумевают поддержание влажности внутреннего воздуха в холодный и переходный периоды года в диапазоне 45 – 30%, что в свою очередь требует дополнительного увлажнения приточного воздуха, подаваемого в помещение. Соответственно, температура на внутренней поверхности остекления должна быть выше точки росы. В противном случае на поверхности фасадной конструкции появится конденсат.

Для высотного здания характерен большой перепад давления между наружными поверхностями фасадных конструкций и внутри помещений. Его величина зависит от ветрового напора, значительного на больших высотах, и статическо-

го перепада давления, вызываемого высотностью здания и разностью плотностей наружного и внутреннего воздуха.

Сопротивление воздухопроницанию современных фасадных конструкций велико. Однако вследствие значительной поверхности остекления и большого перепада давления увеличивается расход холодного наружного воздуха на инфильтрацию и, соответственно, экспансию внутреннего влажного воздуха через конструкции остекления. Соответственно, требуется дополнительная тепловая мощность отопительных приборов, прежде всего установленных в нижней зоне высотного здания, и защита от поступления наружного воздуха через входные двери и автомобильные ворота. Здесь целесообразно применение тепловых завес шибирирующего типа, устройство промежуточных тамбуров, вращающихся дверей.

Таким образом, внедрение для высотных зданий современных фасадных конструкций со значительным процентом остекления даже при высоких теплотехнических показателях приводит к росту,

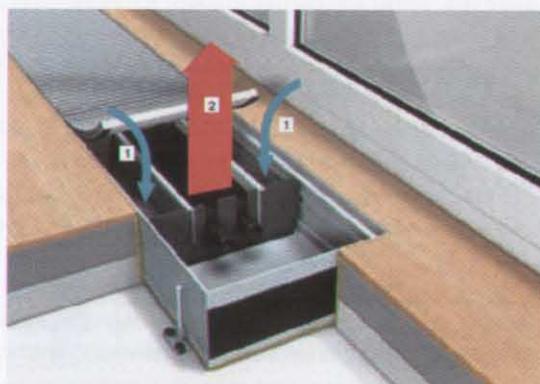
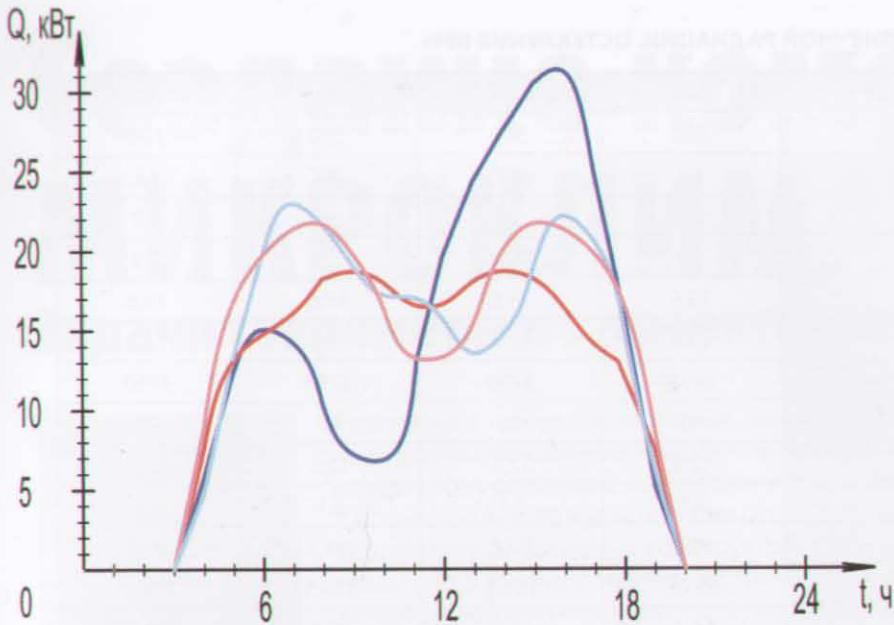


Рис. 1.
Напольный конвектор
для периметрального
отопления и охлаждения



Условные обозначения

- ориентация по румбам (Ю-С)
- ориентация по румбам (ЮЗ-СВ)
- ориентация по румбам (З-В)
- ориентация по румбам (СЗ-ЮВ)

Рис. 3. График поступления тепла от солнечной радиации для типового офисного этажа

и весьма значительному, тепловых и холодильных нагрузок, создает дискомфорт в наиболее «элитной» зоне вблизи оконных проемов, приводит к опасности появления конденсата и обмерзания.

Достаточно логичным для высотного здания является предложение по размещению промежуточной буферной зоны между наружным фасадом и обслуживаемым помещением, где поддерживается оптимальный режим. Она не предназначена для постоянного пребывания людей, но в ней можно разместить зимний сад, зону отдыха и т. п. Аналогичное решение реализовано в проекте ОДЦ «Охта», который неоднократно был представлен на страницах данного журнала.

Следует иметь в виду, что увеличение ширины воздушной прослойки между наружным и внутренним остеклением буферной зоны никоим образом не увеличивает приведенное термическое сопротивление ограждающей конструкции и не снижает расчетные потери тепла, что до

настоящего времени является частой ошибкой в проектах, включая и раздел «Энергоэффективность». Однако в холодный период года наличие буферной зоны позволяет исключить появление конденсата и возможное обмерзание, существенно снизить эксплуатационный расход тепла за отопительный период.

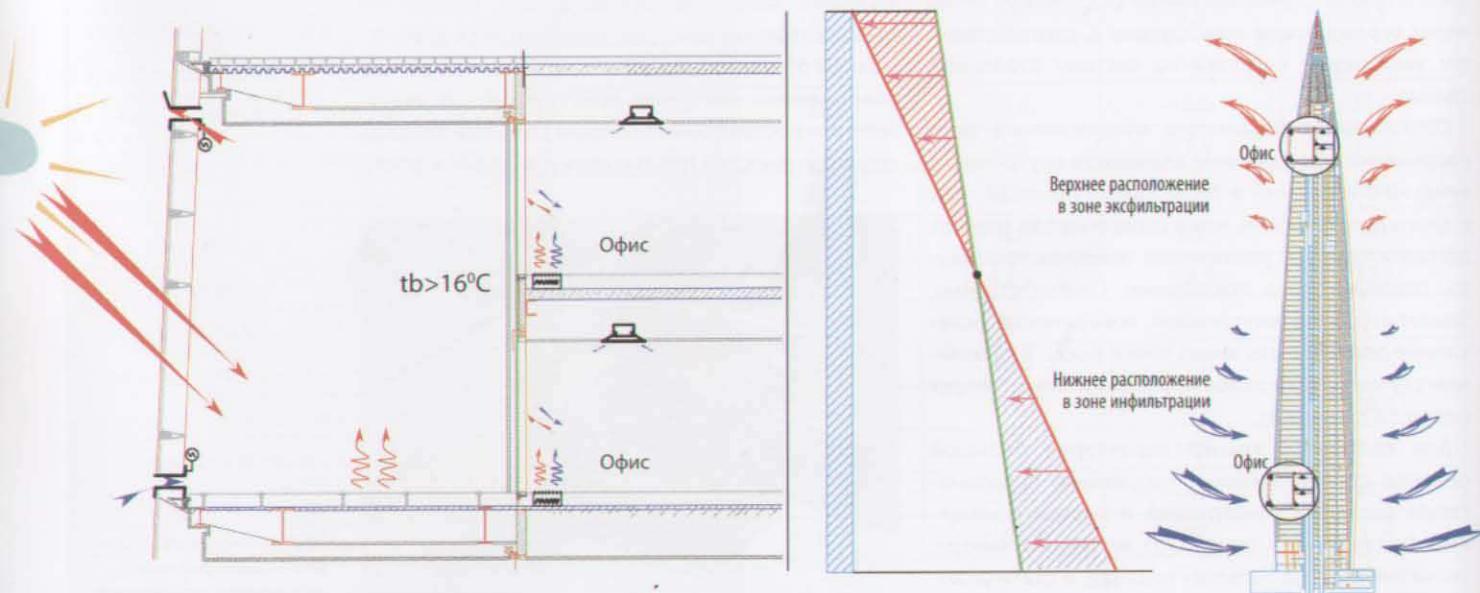
Из данных Таблицы 2 видно, какую значительную долю в суммарной холодильной нагрузке составляет тепло, поступающее от солнечной радиации. Наличие промежуточной зоны позволяет применить недопустимое для стандартных условий решение по использованию естественной аэрации в высотном здании для снятия теплоизбытков от солнечной радиации, локализованных в буферной зоне.

В ясные дни холодного и переходного периодов года буферная зона служит для аккумуляции солнечного тепла, которое затем утилизируется в системах отопления и теплоснабжения приточных вентиляционных установок, что дает более ощутимый эффект его экономии в годовом цикле работы систем.

При компоновке инженерных систем, решающих задачи утилизации тепла, необходимо учитывать переменный характер нагрузок по часам суток в зависимости от ориентации помещений, в том числе и переменный угол облучения фасадных конструкций в разное время года.

Таким образом, буферная зона способна генерировать тепло в холодный и переходный периоды года и сбрасывать его избыток в атмосферу при естественном проветривании без применения холодильных машин. Это может позволить почти в два раза снизить установленную мощность холодильных машин и, соответственно, добиться уменьшения установленной и потребляемой электрической мощности, веса и стоимости оборудования, необходимой площади для его размещения, места для инженерных коммуникаций, что особенно актуально для высотных зданий.

Рис. 2. Использование аэрации в промежуточной буферной зоне



Безусловно, удельные капитальные затраты на реализацию проекта высотного комплекса существенно выше, чем для стандартных зданий. Соответственно, повышаются и требования к внутреннему микроклимату. Офисные помещения классифицируют, как правило, по уровню «А» или «A+». При отсутствии четкого определения высшего класса для инженерных систем, тем не менее, не подлежит сомнению необходимость обеспечения температурно-влажностного режима по оптимальным параметрам:

- в теплый период $t_{\text{BH}} = 23 \pm 1^{\circ}\text{C}$, $\phi = 60 - 30\%$;
 - в холодный период $t_{\text{BH}} = 20 - 22^{\circ}\text{C}$, $\phi = 45 - 30\%$.

Принципиально важным критерием оценки проекта инженерных систем является надежность поддержания заданных параметров, которая характеризуется коэффициентом необеспеченности.

Для подавляющего большинства зданий системы кондиционирования с поддержанием оптимальных параметров внутреннего воздуха имеют только второй класс с необеспеченностью 250 ч/г (0,92), когда наблюдаются отклонения от заданных параметров.

Для высотных зданий, которые позиционируют по высшему классу «А» инженерные системы создания внутреннего микроклимата с учетом повышенных требований к надежности их работы, исключающих возможность возникновения аварийных ситуаций, коэффициент необеспеченности не должен превышать 100 ч/г (0,98), т. е., соответствовать системам кондиционирования первого класса.

Наиболее сложным и дорогостоящим в создании внутреннего микроклимата является обеспечение оптимальных параметров по влажности воздуха. В холодный период года используют увлажнители, как правило, в составе приточных установок, позволяющие повысить влагосодержание сухого наружного воздуха, подаваемого в помещение. В теплый период года при параметрах наружного воздуха, близких к расчетным, в нем наблюдается повышенное содержание влаги. В этом случае для достижения оптимальных параметров требуется удалить избыток влаги из приточного воздуха, охладив его до температуры 12 – 14°C, с последующим нагревом в калорифере второго подогрева до расчетной температуры подаваемого воздуха.

При применении в качестве зональных доводчиков фанкойлов отсутствие второго подогрева с глубоким охлаждением в приточном кондиционере исключает достижение оптимальных параметров даже для расчетных условий, так как из-за конструктивных особенностей фанкойлов интенсивная конденсация избыточной влаги в них невозможна. В ряде случаев, при поступлении влаги от людей, возможно и превышение допустимых значений по влажности внутреннего воздуха, даже если температура наружного ниже расчетной.

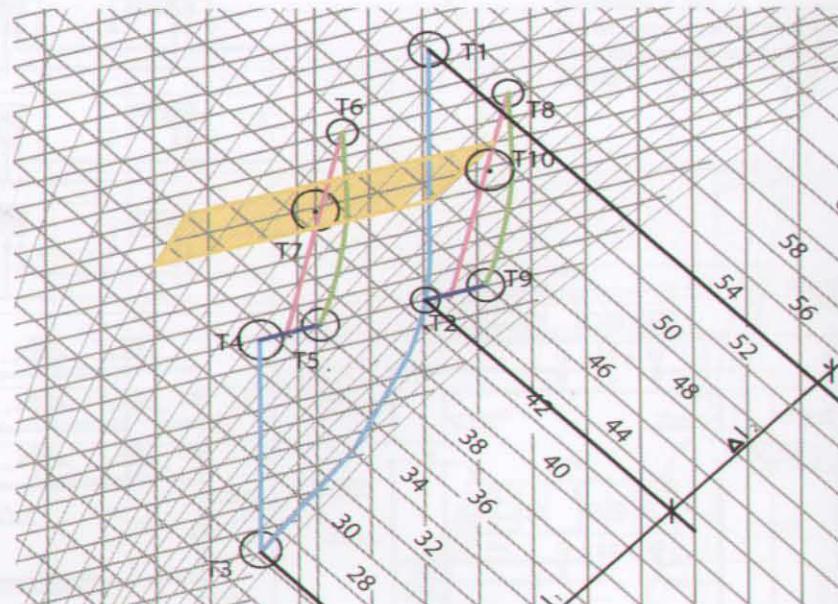


Рис. 4. Иллюстрация

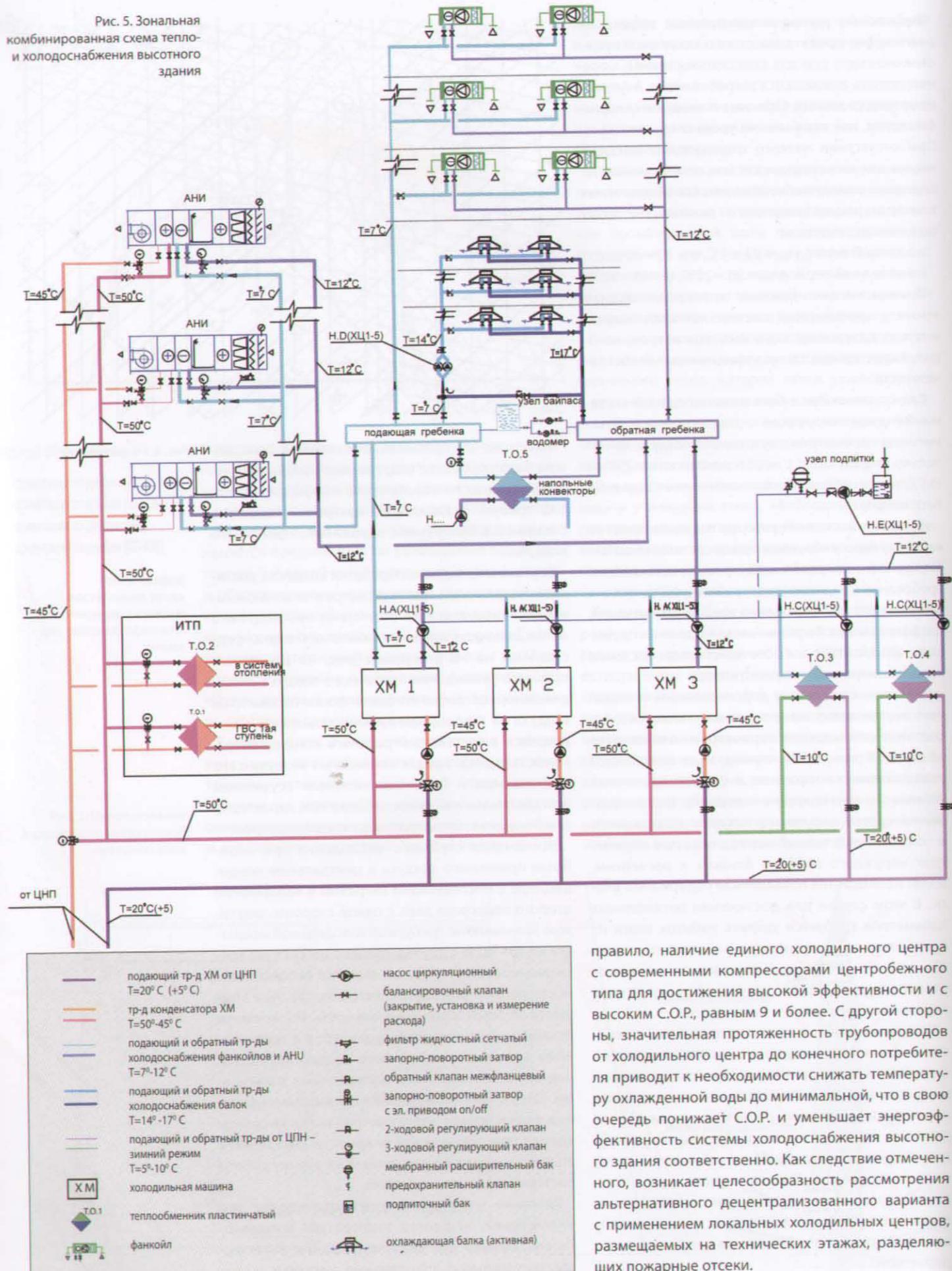
Известно, что применение активных охлаждающих балок как более современного и прогрессивного решения по обеспечению комфортных условий требует безусловного контроля влажности, с подачей в балку ранее осущенного приточного воздуха.

Варианты процессов обработки воздуха с достижением оптимальных параметров и возможными отклонениями при отсутствии необходимого охлаждения для удаления избыточной влаги представлены на I-d диаграмме (рис. 4). Диаграмма процесса охлаждения приточного воздуха и конденсации построена по фактическим параметрам воздуха за теплообменником-охладителем, находящимся в составе центрального кондиционера. Представленная кривая охлаждения воздуха с его постепенным и более интенсивным осушением при достижении влажности более 90% характерна для большинства выпускаемых кондиционеров.

Исключение глубокого охлаждения при обработке приточного воздуха в центральном кондиционере с последующим нагревом в калорифере второго подогрева дает, с одной стороны, ощущимую экономию по требуемой холодильной мощности на 30–40 %, с другой – переводит систему кондиционирования в другой класс по необеспеченности параметров внутреннего воздуха, при этом увеличивается продолжительность по времени отклонений от заданных параметров и превышением влажности внутреннего воздуха не только над оптимальными, но и допустимыми значениями. Отсутствие возможности открывания наружных окон и фрамуг для проветривания в высотном здании при повышенной влажности внутреннего воздуха весьма серьезно влияет на оценку работы системы кондиционирования.

Удаление избыточной влаги происходит тем интенсивнее, чем ниже температура холодоносителя. Однако для высотного здания характерны значительные холодильные нагрузки и, как

Рис. 5. Зональная комбинированная схема теплово-холодоснабжения высотного здания



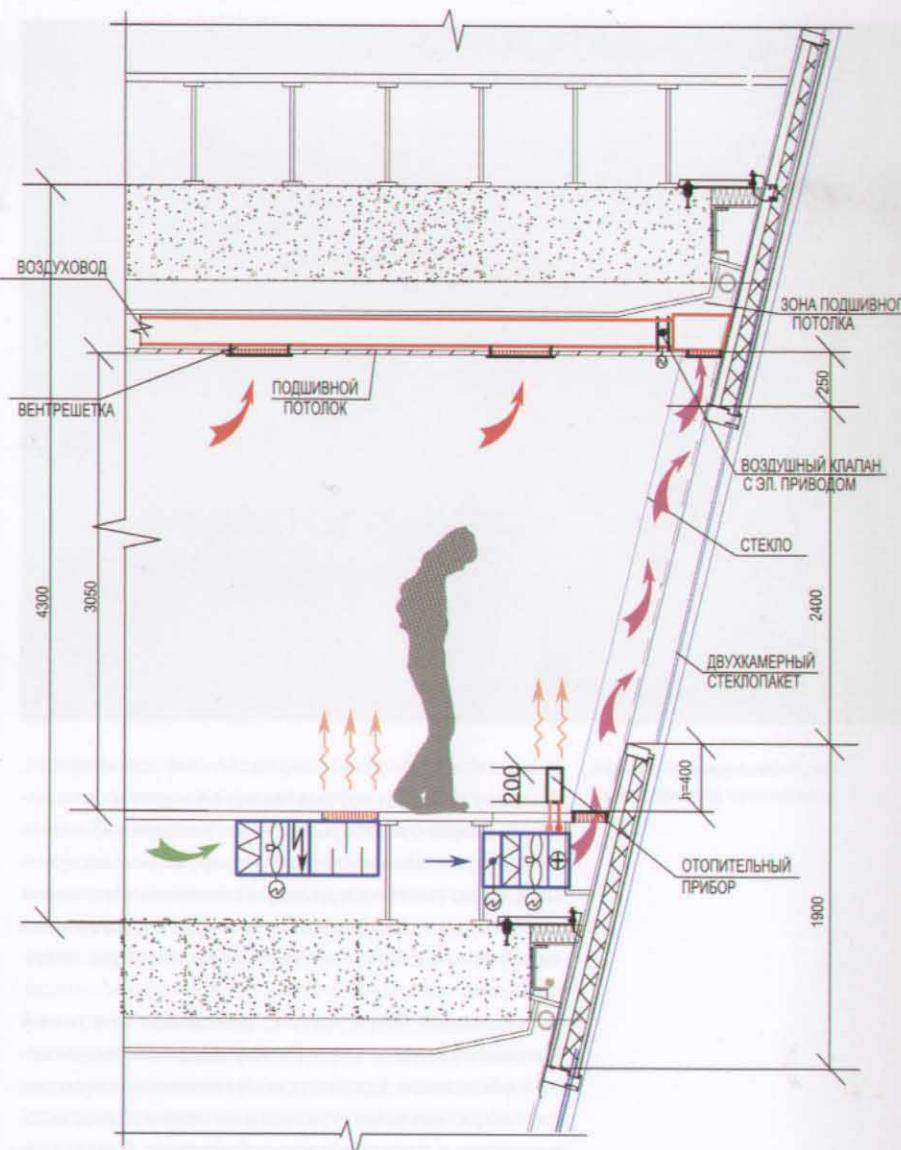
правило, наличие единого холодильного центра с современными компрессорами центробежного типа для достижения высокой эффективности и с высоким С.О.Р., равным 9 и более. С другой стороны, значительная протяженность трубопроводов от холодильного центра до конечного потребителя приводит к необходимости снижать температуру охлажденной воды до минимальной, что в свою очередь понижает С.О.Р. и уменьшает энергозэффективность системы холодоснабжения высотного здания соответственно. Как следствие отмеченного, возникает целесообразность рассмотрения альтернативного децентрализованного варианта с применением локальных холодильных центров, размещаемых на технических этажах, разделяющих пожарные отсеки.

Переход на установку локальных компактных холодильных машин с винтовыми компрессорами непосредственно рядом с центральными кондиционерами позволяет максимально упростить схему холодоснабжения, исключить магистральные трубопроводы большого сечения, оптимизировать энергетические затраты на производство холода, утилизировать тепло от холодильных машин в тех же центральных кондиционерах, построить гибкую единую энергоэффективную систему тепло- и холодопотребления в автономном формате пожарного отсека. Принципиальная схема такого решения представлена на рис. 5.

Приточные и вытяжные установки, обслуживающие помещения, расположенные на различных этажах высотного здания в пределах одного пожарного отсека, как правило, размещают централизованно на технических этажах, которые разделяют пожарные отсеки по высоте здания. Однако, как и в случае с системой холодоснабжения, при сочетании ряда факторов в высотном здании по техническим и стоимостным показателям, целесообразно применять поэтажные децентрализованные приточно-вытяжные механические системы вентиляции и кондиционирования с размещением современных компактных установок непосредственно на каждом этаже в выделенных технических помещениях, площадью не более 6–8 кв. м. Децентрализованная схема исключает прокладку вертикальных вентиляционных шахт, повышает пожарную безопасность в высотном здании, резко снижает площадь воздуховодов и их стоимость и сокращает сроки монтажа. Однако указанная схема исключает стандартный подход к проектированию вентиляционных камер и требует применять современное компактное оборудование более широкого спектра, соответственно, требуется и наличие необходимых навыков и знаний у автора проекта.

Для создания оптимальных условий по температуре и особенно влажности внутреннего воздуха, его подвижности, более гибкому управлению параметрами, в последнее время широко применяют активные охлаждающие балки. Дополнительным фактором в пользу их применения служит минимальный уровень генерируемого шума (не более 20 дБ). Важным фактором является и способность вписаться во внутренний интерьер при широком спектре выпускаемого оборудования. На рис. 6 представлена экспериментальная охлаждающая балка размером 600 × 600 мм с встроенными светильниками.

Широкие возможности для создания оптимального внутреннего микроклимата в сочетании с обеспечением индивидуального регулирования параметров внутреннего воздуха, задаваемых с персонального компьютера, даже в офисе типа «open space», имеет вытесняющая вентиляция с организацией воздухообмена по схеме «снизу-вверх» (рис. 6). При наличии фальшпола



возможна безвоздуховодная раздача приточного воздуха с гибкой системой оперативной замены местоположения напольной приточной решетки с доводчиком. В составе доводчика присутствуют кроме приточной решетки вентилятор, воздушный фильтр и маломощный электронагреватель. В отличие от перемешивающей стандартной схемы организации воздухообмена «сверху-вверх», вытесняющая вентиляция почти мгновенно изменяет влажность внутреннего воздуха, что крайне актуально для высотного здания при реализации концепции контроля и управления влажностью внутреннего воздуха, в т. ч. для исключения процессов конденсации и обмерзания на внутренних поверхностях фасадных конструкций.

Автоматизация инженерных систем обеспечения микроклимата высотного здания должна решать комплекс задач разного уровня и включает, с одной стороны, задание и поддержание индивидуальных параметров внутреннего воздуха на каждом рабочем месте, с другой – оптимизирует работу приточных установок и центральных кондиционеров, с возможностью изменения расхода приточного и удаленного воздуха в зави-

Рис. 6.
Вытесняющая вентиляция

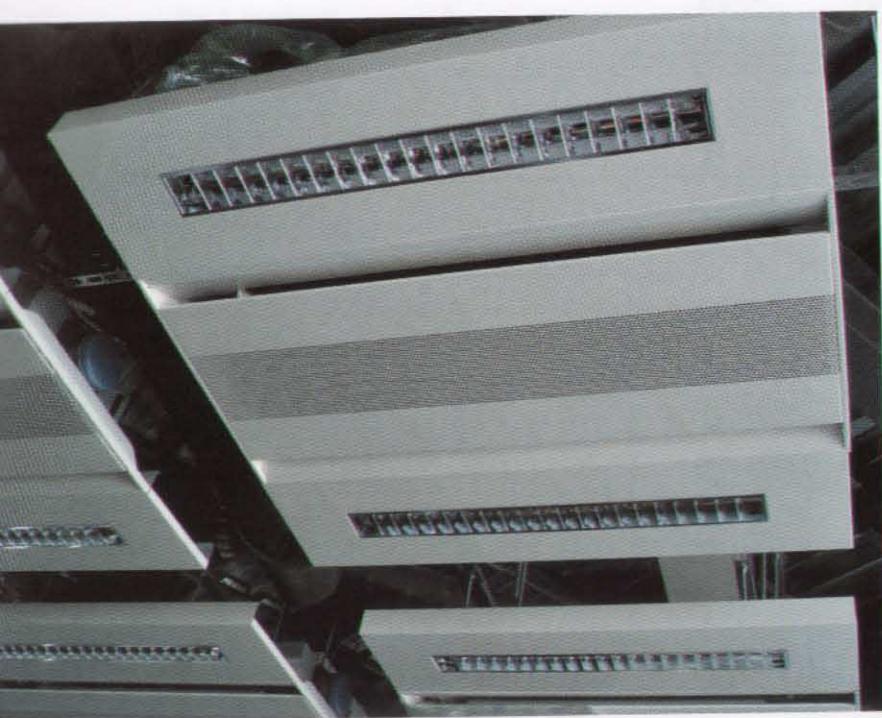


Рис. 7. Экспериментальная компактная охлаждающая балка

симости от загрузки (наполнения) помещения. В задачу системы автоматизации входит и оптимизация режимов работы системы холодоснабжения и теплоснабжения по оптимизирующими алгоритмам, включая и определение оптимального числа работающих холодильных машин для достижения наилучшего С.О.Р. и минимизации текущих энергозатрат.

Отдельный блок задач, решаемых системой автоматизации, – управление внешней инженерной оболочкой здания при наличии аэрационных клапанов, системы утилизации тепла солнечной радиации в промежуточных буферных зонах; создание локального зонального избыточного позитивного давления внутреннего воздуха для снижения инфильтрации наружного воздуха; исключение возможности конденсации и обмерзания. Дополнительная задача для систем автоматизации – надежное обеспечение заданных параметров как при рабочем, так и при дежурном режиме их функционирования, равномерная отработка ресурсов оборудования, большая часть которого резервируется (дублируется), ограничение работы систем при аварийных ситуациях или снижении получения внешних энергоресурсов (тепло или электроэнергия), превышении параметров наружного воздуха над расчетными при неблагоприятных метеоусловиях.

Большинство из указанных задач для системы автоматизации BMS высотного здания требуют от инженера-проектировщика правильного выбора систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, проработки алгоритмов их поведения при сочетании различных факторов.

С другой стороны, локальные системы отопления, вентиляции и кондиционирования, тепло- и холодоснабжения, зональные доводчики, управ-

ление воздушно-тепловым режимом высотного здания представляют собой единую технологическую систему, состоящую из множества подсистем, взаимно влияющих друг на друга. Достижение итоговых оптимальных технических и стоимостных показателей в такой сложной системе не является результатом сложения локальных оптимальных показателей по каждой подсистеме. Оптимальное решение – это обоснованный компромисс, в том числе и между техническими и стоимостными показателями.

Получение надежного качественного решения по инженерным системам высотного здания, тем более оптимизация энергетических, технических, конструктивных и стоимостных показателей, требует проведения большого числа расчетов, связанных с формированием и сравнением вариантов компоновки систем по многим показателям. Это, в свою очередь, возможно только при комплексном моделировании режимов их работы.

Моделирование включает получение технических показателей по потребляемым мощностям (тепловой, холодильной и электрической, а также определение количества воды для увлажнителей и градирен) не только для расчетных условий в теплый и холодный периоды, но и за весь годовой цикл – по различным вариантам компоновки систем тепло- и холодоснабжения, вентиляции и кондиционирования, в т. ч. для централизованных и децентрализованных схем. Для оценки результата анализа технические показатели должны быть дополнены стоимостными, включая первоначальную стоимость оборудования и материалов и, безусловно, эксплуатационные затраты с учетом экономии тепловой и электрической энергии за счет утилизации низкопотенциального тепла вентиляционных выбросов, дополнительного тепла от солнечной радиации в холодный и переходный периоды года, оптимизации режимов работы холодильных машин в системе холодоснабжения при переменной нагрузке в годовом цикле, утилизации тепла от холодильных машин в системе теплоснабжения, использования потенциала «свободного холода» и т. п.

Для подтверждения надежности инновационных решений, практической отработки алгоритмов управления инженерными системами, для сравнения различных вариантов компоновки систем выполняют моделирование на стенах или, как показано на рис. 8, в испытательных павильонах, которые включают и элементы ограждающих фасадных конструкций. При проведении серии испытаний с моделированием внутреннего режима, характерного для высотного здания, с созданием соответствующих перепадов давления внутреннего и наружного воздуха, при относительно низкой температуре наружного воздуха, на внутренней поверхности фасадной конструкции произошло выпадение конденсата.

В ходе испытаний решалась задача отработки компенсационных мероприятий для исключения появления конденсата на фасадных конструкциях и поиск энергоэффективных решений (алгоритмов) управления воздушно-тепловым режимом буферных промежуточных зон.

В настоящее время процесс разработки проектной документации по инженерным системам, в том числе и для высотных зданий, включает следующие стандартные этапы: составление заказчиком технического задания на проектирование, разработку проектной документации в объеме Постановления Правительства РФ № 87 от 16 февраля 2008 г. «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» для представления в органы госэкспертизы (стадия «Проект») и собственно разработку рабочей документации, которая часто выполняется в рамках контракта заказчика с генеральным подрядчиком и его субподрядчиком.

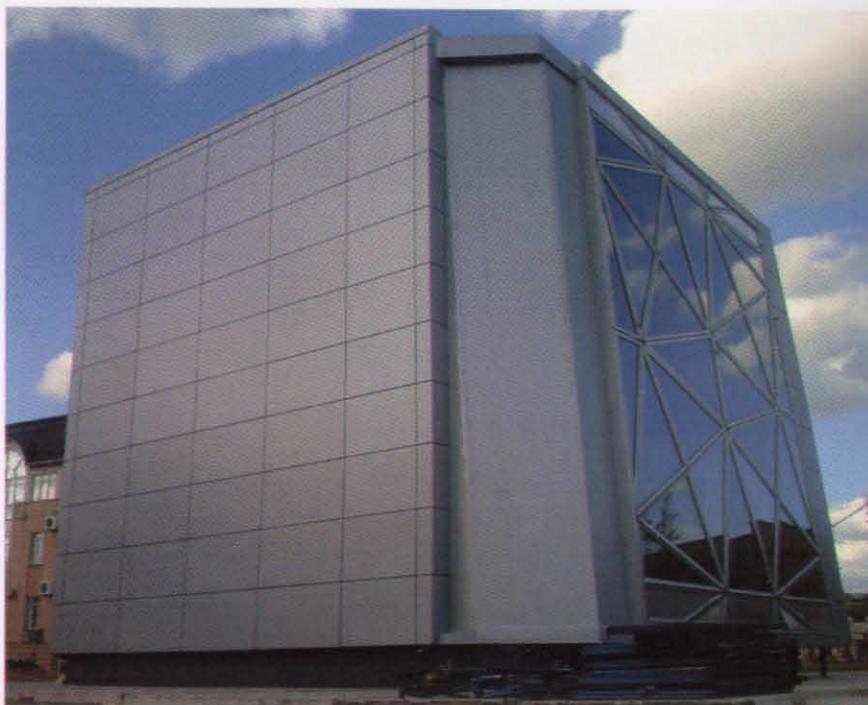
Если на этапе «Проект» от проектировщика инженерных систем могут в лучшем случае потребовать дополнительные обоснования принятых технических решений, то на заключительном этапе при разработке рабочей документации основные усилия направлены на максимальную оптимизацию (чаще воспринимаемую как минимизацию) стоимости реализации проекта.

Целесообразно обеспечить присутствие разработчика инженерных систем на этапе подготовки общей концепции высотного здания. На начальном этапе необходима комплексная проработка всех теплотехнических задач, связанных с функционированием ограждающих фасадных конструкций. Безусловно, необходимо учитывать результаты испытаний модели высотного здания в аэродинамической трубе или (и) компьютерного моделирования, в т. ч. для определения мест забора приточного воздуха и выброса удаляемого, расчета объема воздуха при инфильтрации и экспартифляции, при расчетах внутреннего режима помещений.

Следующим этапом совместной работы специалистов заказчика и проектировщиков является разработка вариантов решений инженерных систем и критериев их оценки с последующим комплексным моделированием и получением их технических и стоимостных показателей.

Как уже отмечалось, первичная стоимостная оценка инженерных систем должна выполняться не по спецификации оборудования и материалов в составе тендерной документации на заключительном этапе разработки стадии «Проект», а ранее, при сравнении вариантов для выбора окончательного, по которому и будет в дальнейшем разработана проектная документация.

Учитывая, что инженерные системы высотного здания состоят из множества подсистем, каждая из которых имеет свою область для оптимального функционирования, разработчик должен в разде-



ле «ОиВ» проектной документации представить не только функциональные и структурные схемы, но и алгоритмы действия этих систем с определением условий изменений режима работы оборудования или системы (перепад давления, данные по температуре и влажности) для реализации оптимальных энергоэффективных режимов. Целесообразно и дальнейшее участие разработчика алгоритмов не только в составе авторского надзора на этапе реализации проекта, но и в период опытной эксплуатации систем на срок до 2-х лет, с задачей доводки алгоритмов по итогам первичной эксплуатации, с подтверждением ранее заявленных показателей проекта.

Таким образом, проект инженерных систем современного высотного комплекса является результатом работы многих специалистов: заказчика, архитектора, проектировщика инженерных систем, службы эксплуатации и привлекаемых технических экспертов. Однако ключевым является начальный этап разработки концепции, вариантов, комплексное моделирование и расчет инженерных систем в годовом цикле при различных режимах.

Критерием хорошего современного проекта является не только его соответствие действующим нормативным документам, что, безусловно, необходимо и обязательно, но и достижение оптимальных технических и ценовых показателей функционирования инженерных систем высотного здания. В свою очередь, это возможно при расширении задач и этапов разработки проектной документации, обязательной проработке альтернативных вариантов, комплексном моделировании с последующим анализом и обоснованным выбором окончательного решения для его практической реализации. ■

Рис. 8. Испытательный павильон