КЛИМАТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР В БРЕМЕРХАФЕНЕ

Климатический центр Klimahaus является одновременно научным музеем и тематическим парком, посвященным климату Земли. Перед проектировщиками стояла сложная задача: с одной стороны, создать реалистичное восприятие особенностей различного климата, с другой – обеспечить посетителям комфортные условия.

Климатический центр Klimahaus расположен на побережье Северного моря. Общая площадь центра составляет около 20 000 м². Собственно музей занимает 143 зала на 57 уровнях. Климатический центр рассчитан на посещение 600 000 человек в год, но дневная пиковая нагрузка может составлять до 5 000 человек.

На площади 5 000 м² расположена выставочная секция, в которой моделируются климатические условиях разных районов земного шара, – так называемая секция путешествий (Reise). Здесь воспроизводятся условия восьми климатических зон земного шара (температурно-влажностные параметры меняются при этом в диапазоне от 38 °C при относительной влажности

85 % до –6 °C при очень сухом воздухе).

Таким образом, посетители «огибают» земной шар по меридиану, совершая за 3 ч «путешествие» протяженностью 40 000 км, и знакомятся с климатом этих зон.

Экспозиция еще четырех выставочных залов рассказывает о климатических феноменах, истории и последствиях изменения климата, защите окружающей среды, прогнозировании погоды.

Перед проектировщиками системы климатизации стояла сложная задача: необходимо было, с одной стороны, создать реалистичное восприятие особенностей как очень жаркого, так и очень холодного климата; с другой стороны, обеспечить посетителям настолько комфортные условия, чтобы они не нуждались в специальной дополнительной одежде. Особое внимание уделялось требованиям энергетической эффективности и минимизации эмиссии CO_2 – поскольку одной из целей реализации проекта являлась популяризация защиты окружающей среды. Само здание должно было отвечать требованиям экологичности. Использование сложного сочетания технологий вентиляции и кондиционирования воздуха позволило обеспечить выполнение этих требований.

По заявлению проектировщиков, в результате оптимизации удалось снизить энергопотребление на 50% по сравнению с первоначальным проектным решением.

Конструктивные особенности

Конструктивно здание Klimahaus реализовано по концепции «здание в здании»: оно представляет собой железобетонную внутреннюю структуру (ядро), покрытую светопрозрачной стеклянной внешней оболочкой. В эту оболочку интегрированы фотоэлектрические панели, вырабатывающие электрическую энергию.

Оболочка смонтирована на стальном каркасе массой 1200 т. Ряд конструктивных решений этого каркаса заимствован из технологий судостроения. Оболочка состоит из порядка 4700 стеклянных панелей различной формы и размеров.

Площадь оболочки составляет более 10 000 м², при этом она ограничивает объем 160 400 м³.

Внутри здания используется свободная планировка: многоуровневые пространства, галереи, лестницы и пандусы. При этом выставочные помещения большой высоты соседствуют с небольшими по объему помещениями, представляющими собой, по сути, климатические камеры. Такое зонирование внутреннего объема здания соотнесено с его системой климатизации, в частности при проектировании вентиляции учитывались распределение воздушных потоков внутри здания и возможность подогрева вентиляционного воздуха теплотой солнечной радиации.

Здание как единая энергетическая система

При проектировании здание рассматривалось как единая энергетическая система, которая оптимизировалась с целью снижения энергопотребления. Расчеты нагрузок для разных периодов с учетом заполнения помещений показали, что в годовом цикле потребность в охлаждении будет превышать потребность в обогреве. В связи с этим повышенное внимание было уделено снижению нагрузки на систему холодоснабжения как за счет мероприятий по снижению внутренних тепловыделений, так и за счет использования различных методов естественного (без применения холодильных машин) охлаждения. Это использование свободного охлаждения (free cooling), грунтовых теплообменников, захолаживания бетонных конструкций и т. д. В результате оптимизации нагрузка на систему холодоснабжения была снижена на 50 %: бóльшая часть выставочных пространств и фойе может охлаждаться без использования холодильных машин.

ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Наименование: Klimahaus.

Расположение: Бремерхафен (Германия).

Владелец: Klimahaus Betriebsgesellschaft mbH.

Основное назначение: музей, научный центр.

Типы помещений: выставочные, учебный центр, климатические камеры.

Общая площадь – 20 000 м².

Общая стоимость – более 70 млн евро.

Завершение основных строительных работ: июнь 2009 года.

Музей:
Занимает 143 зала на 57 уровнях.

Температурные параметры – от 38 до –6 °C.

Количество посетителей в год – 600 000.

Дневная пиковая нагрузка – до 5 000 чел.

Площадь – 5 000 м².

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ЗОНЫ МУЗЕЯ

- Остров Лангенес Фризского архипелага с суровым климатом в Северном море (Германия).
- Альпийские пастбища в кантоне Ури (Швейцария), переходящие в ледник горы Блюмлисальп.
- Средиземноморский остров Сардиния (Италия) с температурой 25–30 °С при относительной влажности 50 %.
- Тропическая африканская саванна Сахель у города Канака (Нигер), засушливый пустынный район (средняя температура равна 35 °С), для наглядности каждые 12 мин на корни высаженной здесь акации падает одна капля воды – именно таков объем осадков в данной местности.
- Африканский тропический лес у Икенге (Камерун) с жарким и влажным климатом: 30 °С при относительной влажности 80 %.
- Земля Королевы Мод в Антарктиде с температурой –6 °С при относительной влажности 48 %.
- Коралловый остров Сатитоа, архипелаг Самоа в Тихом океане – климатические условия аналогичны камерунским. Здесь же расположен тропический океанариум.
- Заснеженная тундра с холодным и сырым климатом города Гамбелла на острове Святого Лаврентия в Беринговом проливе близ Аляски.

Концепция климатизации и энергоснабжения

Концепция климатизации здания предполагает максимальное использование нетрадиционных возобновляемых источников энергии, вторичных энергетических ресурсов. Реализация этой концепции потребовала совместной работы многих специалистов. Такой подход позволил, например, обеспечить снижение удельных тепловыделений от осветительных приборов и средств визуализации информации более чем в 1,5 раза: со значения 65 Вт/м² до примерно 40 Вт/м².

В здании широко применяется ночное захолаживание конструкций, позволяющее сглаживать пики холодильной нагрузки и использовать методы свободного охлаждения. В массивные бетонные перекрытия замоноличены охлаждающие змеевики из термостойких полимерных труб. В ночное время в этих змеевиках циркулирует вода, которая охлаждается в градирнях посредством прохладного ночного воздуха. Градирни расположены на покрытии здания. В течение дня массивные перекрытия работают как охлаждающие потолки, ассимилируя лучистую составляющую теплоизбытков и обеспечивая тепловой комфорт без дополнительного охлаждения воздуха в помещении.

Всего в системе холодоснабжения предусмотрены один первичный контур охлаждения воды в градирнях и четыре вторичных, обеспечивающих подачу охлажденной воды от теплообменников первичного контура к потребителям: системы захолаживания конструкций здания, подвесных охлаждающих потолков, охлаждения пола в фойе (мощность 270 кВт) и блоков охлаждения воздуха.

В ряде помещений возможности использования массивных захолаживаемых перекрытий в качестве охлаждающих потолков ограничены из-за архитектурно-конструктивных особенностей здания. В этом случае для ассимиляции теплоизбытков используются подвесные охлаждающие потолки. Поскольку они имеют ограниченную теплоемкость, необходима подача в них охлажденной воды в дневное время. Охлаждение воды происходит в грунтовых теплообменниках. В здании используется свайное основание: 770 железобетонных свай диаметром 60 см расположены на глубине около 25 м под уровнем земли. Из них 464 сваи используются в качестве грунтовых теплообменников: в них заложены трубы, по которым циркулирует холодоноситель (30 %-й раствор этиленгликоля), который таким образом охлаждается за счет геотермального потенциала грунта.

ПРЕИМУЩЕСТВА ТЕХНОЛОГИИ DEC

- Охлаждение воздуха без использования холодильных машин традиционной конструкции и связанное с этим снижение нагрузки на систему электроснабжения.
- Возможность использования для охлаждения здания нетрадиционных возобновляемых источников энергии, вторичных энергетических ресурсов, а также, при когенерации, «излишков» тепловой энергии, которая в теплое время сбрасывается через градирни.
- Отсутствие необходимости в градирнях.
- Возможность использования роторных осушителей в холодное время для увлажнения приточного воздуха за счет влажности вытяжного воздуха.
- Высокая эффективность утилизации теплоты вытяжного воздуха для подогрева приточного в холодное время.
- Уменьшение риска замораживания.
- Высокое качество микроклимата за счет отсутствия необходимости рециркуляции.

ОБЩАЯ СХЕМА КЛИМАТИЗАЦИИ ЗДАНИЯ

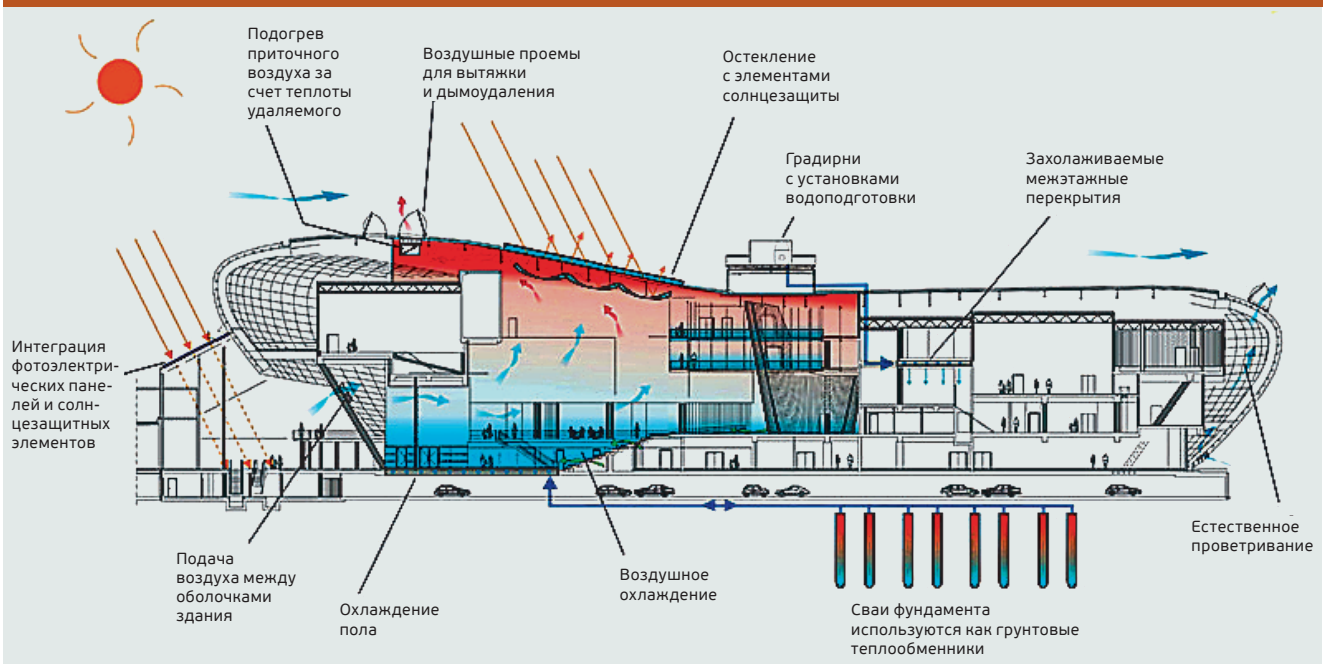
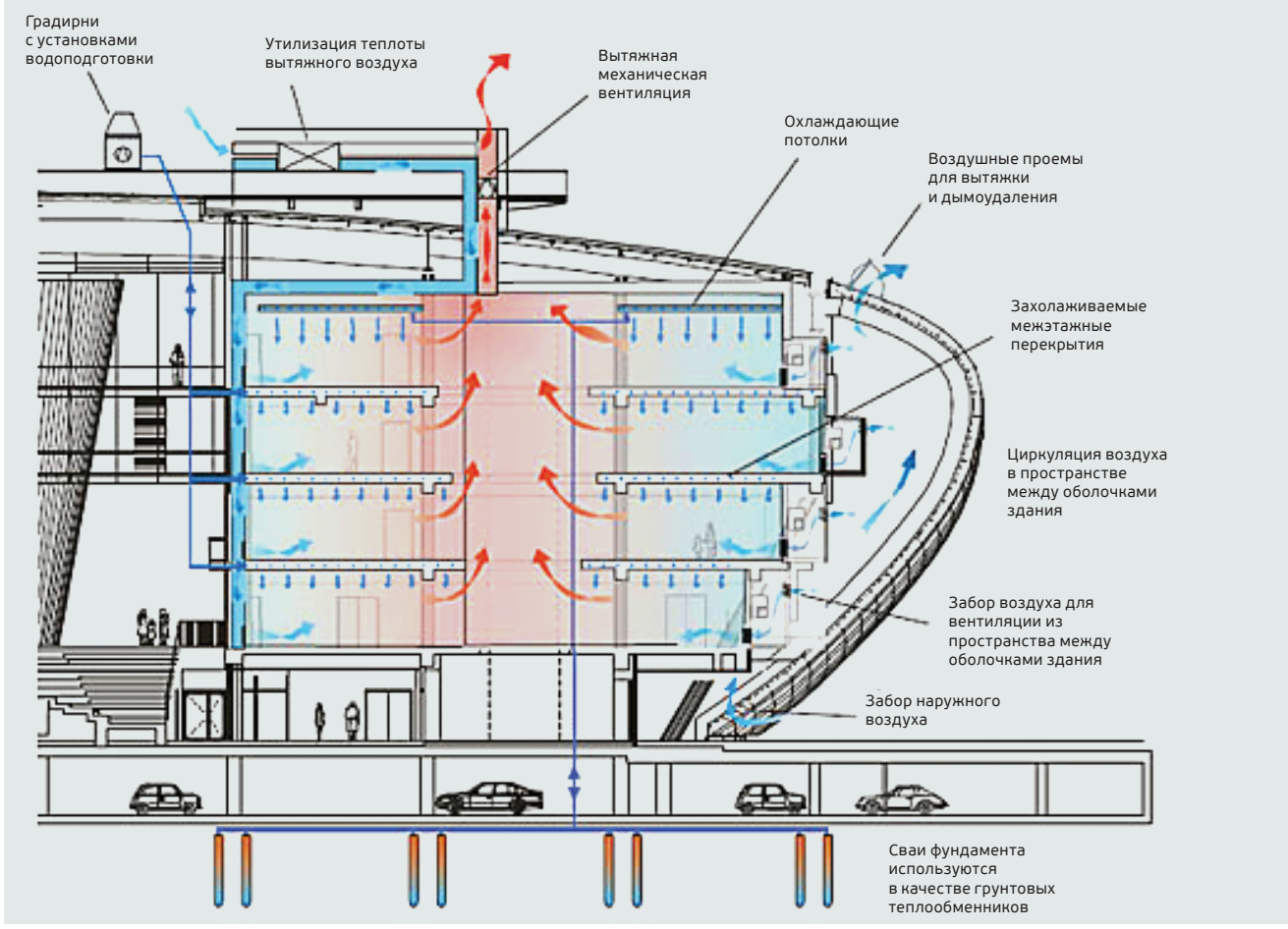
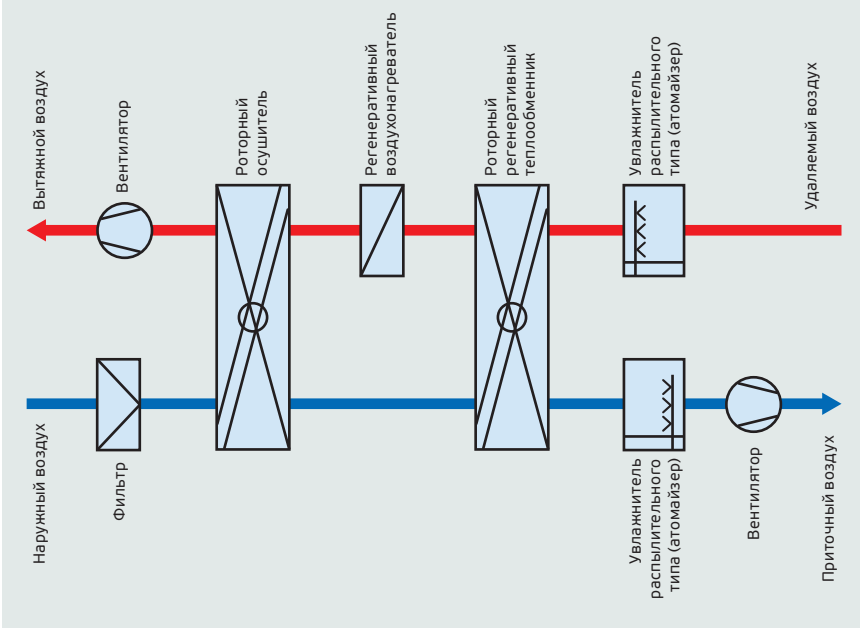


СХЕМА КЛИМАТИЗАЦИИ ВЫСТАВОЧНЫХ ПЛОЩАДЕЙ В ЛЕТНИХ УСЛОВИЯХ



ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА УСТАНОВКИ, РЕАЛИЗУЮЩЕЙ ПРИНЦИП DEC



Общая длина труб в этом контуре составляет около 21 км. Эта же вода частично используется и для охлаждения приточного воздуха. Грунтовые теплообменники обеспечивают холодильную мощность около 270 кВт. В холодное время они используются в качестве источника низкопотенциальной тепловой энергии для теплонасосных установок.

Для вентиляции здания используется комбинация механических и естественных систем.

Значительные преимущества при обеспечении требуемых параметров микроклимата внутренних помещений дает использование концепции «здание в здании»: пространство между наружной оболочкой и внутренним железобетонным ядром является частью системы климатизации. При комфортных наружных температурах используется естественное проветривание с возможностью подогрева приточного воздуха теплотой солнечной радиации. При жаркой погоде воздух позволяет снизить теплопоступления от нее: через специальные проемы в нижней части внешней оболочки наружный воздух поступает в пространство между наружной оболочкой и внутренним железобетонным ядром и в форме естественного восходящего потока за счет постепенного естественного нагревания движется к верхней части, где отводится наружу через отверстия в крыше. Эти отверстия одновременно предназначены для обеспечения дымоудаления в случае возгорания. С внутренней стороны оболочки на всей ее площади расположены солнцезащитные устройства, позволяющие снизить теплопоступления от солнечной радиации, не препятствуя при этом естественному освещению. Часть воздуха из внутреннего пространства перенаправляется непосредственно в нижний уровень выставочных залов. Этот воздух циркулирует снизу вверх и отводится посредством механической вентиляции через каналы в перекрытии. Удаляемый воздух пропускается через теплообменники, посредством которых теплота удаляемого воздуха используется для подогрева приточного. Производительность этих установок составляет около 35 000 м³/ч. В теплый период данная система используется для предварительного подогрева ночного воздуха и проветривания помещений, когда в них нет посетителей и сотрудников. Прохладный наружный воздух в это время может использоваться для ночного охлаждения здания. В зимних условиях пространство двойной оболочки используется для предварительного подогрева приточного воздуха.

СИСТЕМА КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Различные климатические условия в помещениях «секции путешествий» – от жарких тропиков до ледяной Антарктиды – создают 27 установок центральных кондиционеров robatherm с общей производительностью по воздуху около 300 000 м³/ч. Они точно имитируют различные типы климата и поддерживают в каждой зоне необходимые температуру и влажность. «Воспроизводить совершенно разные условия в пределах одного здания, несомненно, уникальная задача», – говорит Александр Геращенко, торговый партнер robatherm в России, директор ООО «Аэротерм». Например, в «Антарктику» нужно подавать воздух с температурой –10 °С. Отказ кондиционера приведет к серьезным последствиям. Айсберг быстро растает внутри помещения, и музей потеряет один из аттракционов.

СХЕМА ОБРАБОТКИ ВОЗДУХА В УСТАНОВКЕ, РЕАЛИЗУЮЩЕЙ ПРИНЦИП DEC

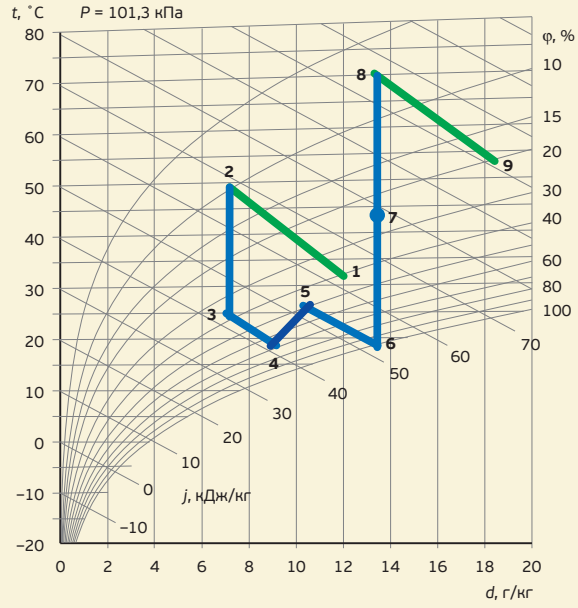
Забираемый с улицы наружный воздух с параметрами, соответствующими точке *1*, очищается в воздушном фильтре, а затем поступает в роторный осушитель. Ротор осушителя покрыт влагопоглощающим материалом – адсорбентом, в данном случае это силикагель (SiO_2). Происходит адсорбция влаги из воздуха на поверхность адсорбента, т. е. осушение приточного воздуха адсорбентом (этап *1–2*). Как отмечено в справочном пособии АВОК «Влажный воздух», угловой коэффициент луча такого процесса очень близок к изоэнтальпе, т. е. осушение воздуха адсорбентом представляет собой практически адиабатный (протекающий без теплообмена с окружающей средой) процесс, направленный в сторону, противоположную процессу адиабатного увлажнения воздуха водой. В процессе осушения влагосодержание приточного воздуха уменьшается (влагосодержание снижается примерно на 8 г/кг), а температура существенно повышается. Процесс предварительного осушения необходим, поскольку эффективность дальнейшего процесса адиабатического охлаждения приточного воздуха тем выше, чем ниже его влагосодержание.

Далее приточный воздух поступает в роторный регенеративный теплообменник (этап *2–3*), где охлаждается, отдавая теплоту вытяжному воздуху (соответствует этапу *6–7*) при постоянном влагосодержании (могут быть использованы и пластинчатые теплообменники, но их эффективность ниже).

Затем приточный воздух обрабатывается в увлажнителе распылительного типа (атомайзер) (этап *3–4*). В процессе адиабатического охлаждения происходит испарение воды за счет теплоты приточного воздуха, в результате чего его температура понижается, а влагосодержание повышается. Охлажденный воздух подается в обслуживаемое помещение с параметрами, соответствующими точке *4* (фактически при том же влагосодержании его температура несколько увеличится за счет работы вентилятора и теплопередачи через стенки воздуховодов). При правильно запроектированной установке можно обеспечить в летнее время температуру приточного воздуха 19–20 °С.
Для повышения эффективности в насосах увлажнителей используются частотно-регулируемые приводы. Может производиться очистка воды в установках обратного осмоса.

Воздух, подаваемый в обслуживаемое помещение, ассимилирует теплоизбытки (этап *4–5*), его температура повышается, и он забирается из помещения с параметрами, соответствующими точке *5*.

Удаляемый из обслуживаемого помещения вытяжной воздух используется для предварительного охлаждения приточного воздуха и регенерации адсорбента. С этой целью вытяжной воздух обрабатывается в увлажнителе обратного осмоса распылительного типа, в процессе адиабатического охлаждения при постоянной энтальпии его температура понижается до температуры, близкой к температуре мокрого термометра, влагосодержание повышается (этап *5–6*). В условиях Центральной Европы температура воздуха при этом может быть снижена примерно на 12 °С. Затем вытяжной воздух поступает в роторный регенеративный теплообменник, где отбирает



теплоту приточного воздуха (этап *6–7*, соответствует этапу *2–3*) при постоянном влагосодержании (в особых случаях при применении технологии DEC в помещениях с большими внутренними тепловыделениями, когда удаляемый из помещения воздух имеет достаточно высокую температуру, вместо него для предварительного охлаждения приточного воздуха может быть использован наружный воздух; вытяжной воздух в этом случае используется только для регенерации адсорбента).

Последние два этапа необходимы для регенерации адсорбента – десорбции влаги с поверхности роторного осушителя.
Чтобы эффективно десорбировать влагу с поверхности роторного осушителя, вытяжной воздух должен иметь температуру от 70 до 140 °С. Поэтому после предварительного подогрева в роторном регенеративном теплообменнике вытяжной воздух подогревается до требуемой температуры в регенеративном воздухонагревателе при постоянном влагосодержании (этап *7–8*). Для подогрева воздуха очень эффективно использование каких-либо возобновляемых или вторичных энергетических ресурсов.

На последнем этапе производится регенерация адсорбента: вытяжной воздух поступает в роторный осушитель, где за счет своей высокой температуры десорбирует влагу с поверхности адсорбента, т. е., по сути, забирает влагу приточного воздуха (этап *8–9*, соответствует этапу *1–2*). Влагосодержание вытяжного воздуха увеличивается, температура понижается.
Из-за необходимости использования роторных теплообменников и осушителей могут иметь место небольшие, около 2–3 % от объема, утечки воздуха – перетекание воздуха между подающим и вытяжным трактами. Это обстоятельство необходимо учитывать, если назначение помещения предполагает повышенные требования к чистоте воздуха, особенно при требованиях по концентрации летучих органических веществ (volatile organic compounds, VOC).

Однако методов свободного охлаждения и отопления недостаточно для обеспечения микроклимата, моделирующего условия тропиков или полярных областей. Для теплоснабжения здания используется ряд источников. Это сбросная теплота из теплоутилизаторов, а также тепловая энергия, поставляемая от местной теплоэлектростанции, которая работает на сжигании бытовых отходов. Летом тепловая энергия используется и для холодоснабжения. Для использования тепловой энергии в системах холодоснабжения применяются абсорбционные холодильные машины, а также технология, получившая название desiccative and evaporative cooling (DEC) – осушительное и испарительное охлаждение.

Абсорбционные холодильные машины используются для охлаждения воздуха в ресторане и на некоторых выставочных площадях, а также для охлаждения воды в аквариумах (общая емкость аквариумов здания составляет около 700 000 л). Охоложенная вода подается с параметрами 8–14 °C. В системе установлен бак-аккумулятор емкостью 3000 л. При холодильной нагрузке 65 кВт на абсорбционное охлаждение необходима тепловая нагрузка 84 кВт. Подробно эта технология рассмотрена в статье «Абсорбционные холодильные машины».

Технология DEC используется для охлаждения воздуха в теплое время. В качестве источника тепловой энергии также используется теплота от местного мусоросжигательного завода.

Для моделирования климатических условий Антарктиды в соответствующей зоне поддерживается температура –6 °C и намораживается лед. Для этого используется отдельная холодильная машина с винтовым компрессором мощностью 80 кВт. Параметры холодоносителя составляют –12 и –8 °C, в контуре установлен бак-аккумулятор емкостью 2000 л.

В оболочку здания интегрированы 143 фотоэлектрические панели производительностью 37 кВт. Кроме производства электроэнергии фотоэлектрические панели обеспечивают снижение теплопоступлений от солнечной радиации примерно на 20 %.

В результате применения всех инновационных технологий энергоснабжения и климатизации здания значение эмиссии CO_2 очень невелико, оно составляет около 400 г на посетителя.

Технология охлаждения DEC

Одна из особенностей системы климатизации здания центра – использование системы охлаждения воздуха на принципе комбинирования процессов осушения воздуха адсорбентами и адиабатического охлаждения/увлажнения. В этом случае можно минимизировать использование традиционных парокомпрессионных холодильных машин и за счет этого обеспечить снижение затрат энергии на холодоснабжение.

Однако при этом значительно возрастают затраты тепловой энергии: регенерация адсорбента требует очень большого количества теплоты. Поэтому данные установки целесообразно применять в тех случаях, когда есть возможность использования нетрадиционных возобновляемых и вторичных энергоресурсов. Кроме того, в случае применения когенерации в теплое время могут использоваться «излишки» тепловой энергии, сбрасываемые обычно через градирни.

Капитальные затраты системы климатизации, основанной на технологии DEC, выше, чем у систем с парокомпрессионными холодильными машинами (по расчетам немецких специалистов примерно на 30 %), однако эксплуатационные затраты ниже за счет следующих факторов:

1. Снижение потребной мощности электроснабжения примерно на 40% и более низкое электропотребление системы в целом, даже несмотря на увеличившееся воздушное сопротивление из-за установки дополнительных секций.
2. Требования по дополнительному подогреву воздуха в летнее время и увеличившееся за счет этого теплопотребление в летний период компенсируются снижением теплопотребления в холодный период за счет более эффективной утилизации теплоты вытяжного воздуха.

Следует также иметь в виду то обстоятельство, что в системе, основанной на технологии DEC, в теплый период расход воды выше, чем в системах с холодильными машинами. ●

УЧАСТНИКИ ПРОЕКТА

Девелопер: BEAN – Bremerhavener Entwicklungsgesellschaft Alter/Neuer Hafen mbH & Co. KG
Идея проекта: Petri & Tiemann GmbH.
Архитекторы: Thomas Klumpp; agn (исполнение).
Конструкции: Xella International GmbH.
Микроклимат: robatherm.
Аквапанели: Lindner.
Солнечные коллекторы: Ertex Solartechnik GmbH.
Электроснабжение: WISAG Elektrotechnik GmbH.
Система освещения: pfarré lighting design.
Сантехника: GROHE.

Выбор профессионалов!

Настоящие профессионалы привыкли выбирать и рекомендовать своим клиентам только самое лучшее. Именно поэтому они отдают предпочтение напольному отоплению UPONOR – надежному и современному решению, преимущества которого не вызывают сомнений.

- **Легкость и простота установки**: благодаря применению современных технологических решений комплексная система напольного отопления UPONOR может быть установлена и настроена силами одного монтажника в любом помещении вне зависимости от конструкции пола.
- **Гарантированное качество**: все компоненты напольного отопления UPONOR – от трубы до систем управления климатом – от одного производителя. Идеальная совместимость всех компонентов не только заметно упрощает процесс монтажа напольного отопления, но и гарантирует безупречное качество, безопасность и долговечность всей системы.
- **Техническая поддержка**: кроме исчерпывающей технической информации и консультационной помощи, UPONOR предоставляет дополнительную возможность – специализированные семинары об особенности проектирования и монтажа трубопроводных систем в UPONOR Academy.

Посетите наш сайт www.uponor.ru
Единый справочный номер в России: 8 800 700 6982

uponor
simply more

НА ПРАВАХ РЕКЛАМЫ