Источник: www.shutterstock.com

СТЕКЛЯННЫЕ ДВОЙНЫЕ ФАСАДЫ

МАРИАННА БРОДАЧ, НИКОЛАЙ ШИЛКИН

Здания с большим процентом остекления зачастую имеют повышенные нагрузки на системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Стеклянный двойной фасад является интересным решением оболочки здания, приспосабливающейся к изменениям наружного климата.

Стремление максимального использования в строительных конструкциях светопрозрачных конструкций, начавшееся в Европе и США ещё в прошлом столетии, повысило интерес к технологии стеклянных двойных фасадов. Повсеместное применение двойных фасадов началось в 1990-х годах и продолжается до сих пор. Особенно часто такие конструкции можно увидеть в высотном строительстве. Широкую известность получили такие здания, как Commerzbank во Франкфурте-на-Майне (Германия, 1997), City Hall в Лондоне (Великобритания, 2002), а также Manitoba Hydro Place в Виннипеге (Канада, 2009). Здание One Angel Square, построенное в 2013 году, высотой в 14 этажей располагается в Манчестере (Великобритания) и отличается своеобразной трёхгранной конфигурацией со стеклянным двойным фасадом.

Небывалый размах строительства наблюдается в Китае, где активно возводят высотные здания, в том числе и с применением двойных стеклянных фасадов, например две башни Международного финансового центра (Гонконг, 1999 и 2003), Pearl River Tower (Гуанчжоу, 2011), Шанхайский всемирный финансовый центр (2008).

В России пока мало примеров использования данной технологии. Это решение встречается в основном в зданиях премиального класса, что объясняется, как правило, высокими инвестиционными затратами и сложностью реализации подобных проектов. Например, стеклянные двойные фасады установлены в штаб-квартире компании «Новатэк» (Москва, 2011). Здание оборудовано высокотехнологичными интеллектуальными системами, позволяющими обходиться без механической вентиляции и охлаждения.

Конструктивные особенности

Конструкция фасада основана на принципе многослойности – создания нескольких оболочек и использования определённых физических и эстетических свойств отдельных его слоёв. Основным материалом здесь служит стекло, которое благодаря

Офисное здание One Angel Square (Манчестер, Великобритания)

ОБ АВТОРАХ

Марианна Бродач – вице-президент НП «АВОК», профессор МАрхИ, главный редактор журнала «Здания высоких технологий».
Николай Шилкин – канд. техн. наук, профессор МАрхИ.

своим эстетическим и физическим характеристикам обеспечивает нужное оформление здания и выполнение необходимых функций ограждающей конструкции.

Существует много различных конструкций стеклянных двойных фасадов. Общую классификацию приводит директор Института строительной физики им. Фраунгофера (Германия) Карл Гертис, опираясь на работу Вернера Ланга:

- **по размещению поверхностей двойного фасада:** установленные внутри конструкции внешней стены, частично выдвинутые вперёд или полностью выступающие за внешнюю стену;
- **по наличию и размещению вентиляционных отверстий:** без вентиляционных отверстий, с отверстиями только на внутренней поверхности или на обеих поверхностях двойного фасада. Кроме этого, система вентиляции может временно подавать воздух в обход двойного фасада;
- **по сегментированию поверхностей:** промежуток между поверхностями фасада сегментируется или выполняется в виде ширмы. Последний вариант имеет большое значение для переноса воздуха в промежутке между поверхностями.

Схематичные вертикальные разрезы в фасадах, характеризующие виды разработки и размещение конструкции стеклянных двойных фасадов, представлены на рис. 1 и 2.

В зависимости от расстояния, на которое выдвигается наружная стеклянная поверхность, воздушный зазор между поверхностями фасада может иметь следующие характеристики:

- в него нельзя попасть; зазор служит только для размещения

РИС. 1. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ТРАДИЦИОННОГО ФАСАДА ЧЕРЕЗ ПЕРЕХОДНУЮ СХЕМУ С ВЫСТУПОМ В СТЕКЛЯННЫЙ ДВОЙНОЙ ФАСАД

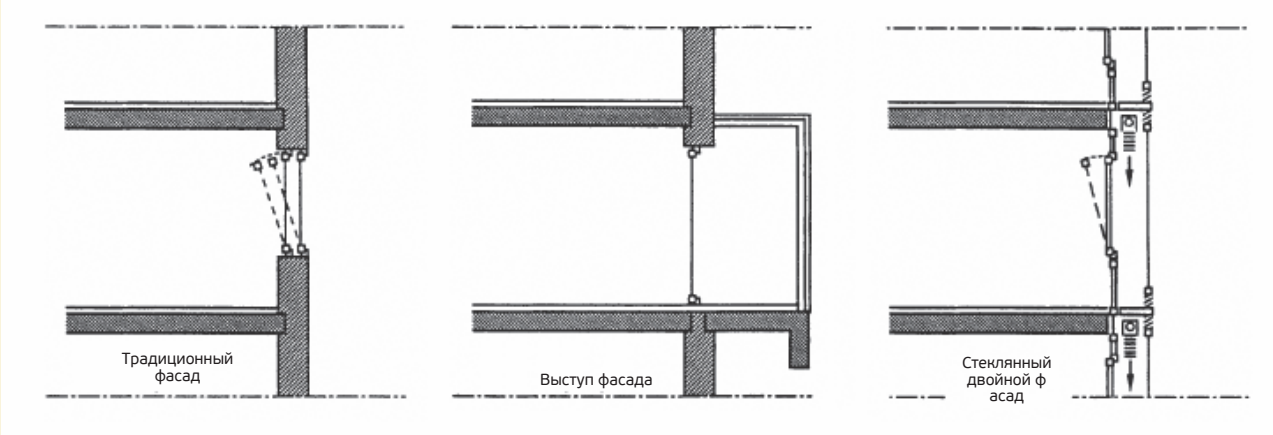
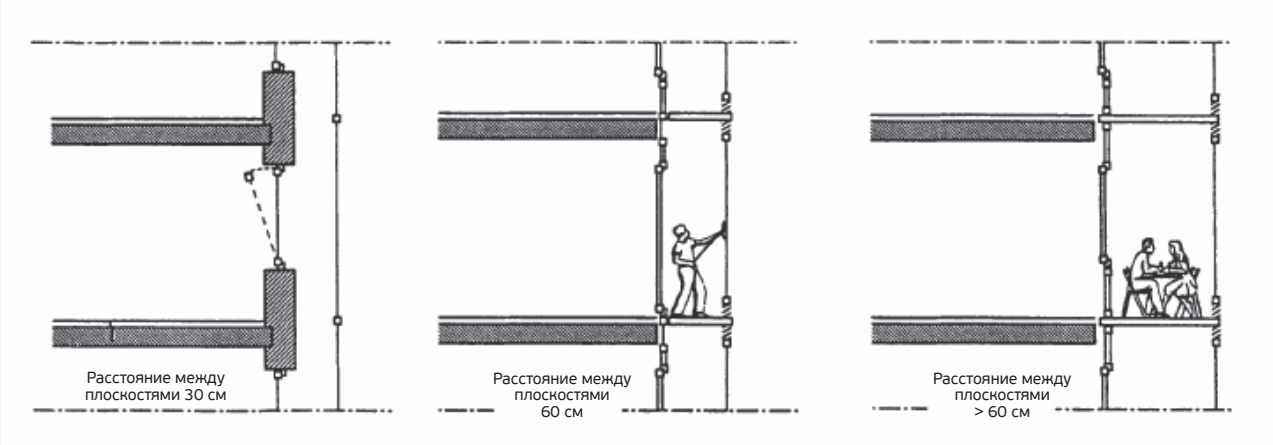


РИС. 2. ВАРИАНТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ЗАЗОРА



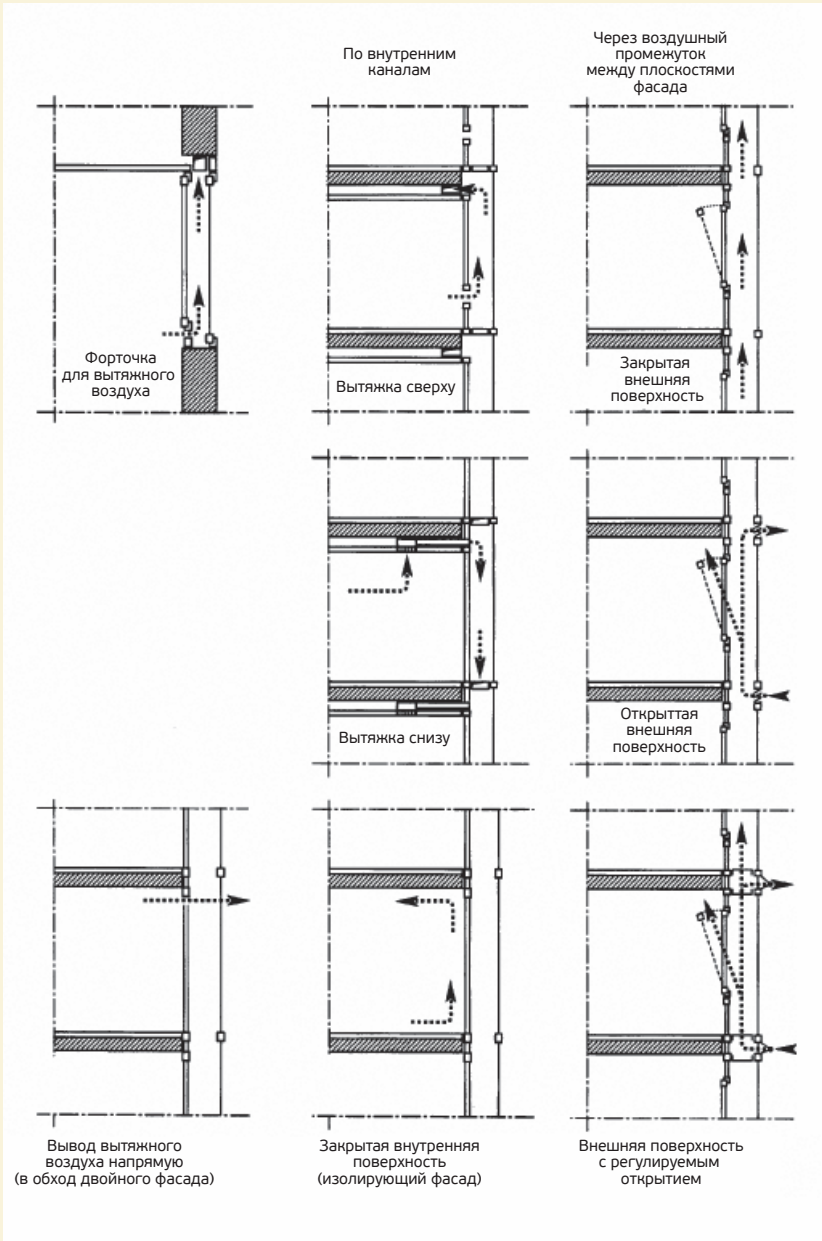
между поверхностями приспособлений для защиты от солнца;
- в нём можно разместиться при мытье стёкол;
- он может использоваться наподобие зимнего сада как общий зал или в качестве помещения для переговоров.

Вентиляция

В зданиях со стеклянными двойными фасадами может предусматриваться как система механической, так и естественной вентиляции через соответствующие отверстия. Опыт показывает, что использование и того и другого видов вентиляции позволяет добиться наилучших параметров микроклимата и высокого уровня энергоэффективности.

Варианты фасадов разнообразны – от стеклянного изолирующего фасада до конструкции с регулируемым открытием внешней и внутренней поверхностей (рис. 3). Может быть также реализован обход стеклянного двойного фасада, при котором приточный или удаляемый воздух направляется напрямую (в этом случае двойной фасад не будет выполнять своей прямой функции).

РИС. 3. СПОСОБЫ ВЕНТИЛЯЦИИ В ЗДАНИЯХ С ДВОЙНЫМИ ФАСАДАМИ



Преимущества и недостатки технологии

До сих пор ведётся широкая дискуссия о том, насколько целесообразно применение стеклянных двойных фасадов вместо традиционных фасадов, имеющих современную теплоизоляционную систему.

Считается, что стеклянные двойные фасады имеют несколько лучшие показатели звукозащиты, чем традиционные фасады. Благодаря естественной вентиляции стеклянные двойные фасады улучшают внутренний климат. В воздушном зазоре между поверхностями фасада может наноситься прочное покрытие для защиты от солнца, а также устанавливаться элементы, отклоняющие свет. В многоэтажных зданиях при сильном ветре стеклянные двойные фасады уменьшают динамический напор, вызывающий повышенное давление прижима внутренних дверей. Конструкция фасада позволяет открывать окна на желаемую ширину даже при большой высотности здания.

Среди минусов отмечаются высокие капитальные и эксплуатационные затраты, связанные, например, с трудностью и частотой очистки внутренних поверхностей. Нет единого мнения среди специалистов о влиянии двойных фасадов на теплопотери зданий. Если речь идёт о высотных зданиях с большой внутренней тепловой нагрузкой, оба

вида фасадов в зимнее время имеют приблизительно одинаковые показатели. Что же касается летней теплозащиты и затрат энергии на охлаждение, в зданиях со стеклянными двойными фасадами без систем кондиционирования воздуха очень сложно обеспечить приемлемые внутренние климатические параметры. Кроме этого, без применения дополнительных защитных мер (установка горизонтальных и вертикальных переборок) зазор между поверхностями стеклянных двойных фасадов повышает пожароопасность.

Несмотря на недостатки, это решение открывает большие возможности для строительства зданий высоких технологий. Многочисленные примеры сложнейших объектов (в том числе здание «Городские ворота Дюссельдорфа»), проекты которых предусматривают естественное освещение, пассивное использование энергии и др., демонстрируют, что стеклянные двойные фасады могут эффективно решать проблемы с перегревом помещений и повышенными нагрузками на систему охлаждения. Проекты подобного рода объединяет то, что в процессе их создания выполняется большой комплекс предпроектных исследований, в том числе создание аэродинамических стендов и проведение математического компьютерного моделирования. Немаловажны и высока заинтересованность, а также требовательность застройщиков.

Городские ворота Дюссельдорфа

В здании «Городские ворота Дюссельдорфа» (архитектор Overdiek Petzinka & Partner, Германия, 1997) применён вентилируемый стеклянный двойной фасад. Его особенностью является наличие горизонтальных поэтажных открытых проходов по периметру здания и атриуму.

Фасад этого здания может быть охарактеризован как рациональное и экономичное техническое решение, которое при значительной внешней шумовой и ветровой нагрузке позволяет на протяжении длительного периода в течение года осуществлять естественную вентиляцию офисных помещений. Кроме того, такой фасад является важным связующим элементом рабочих помещений и окружающей среды.

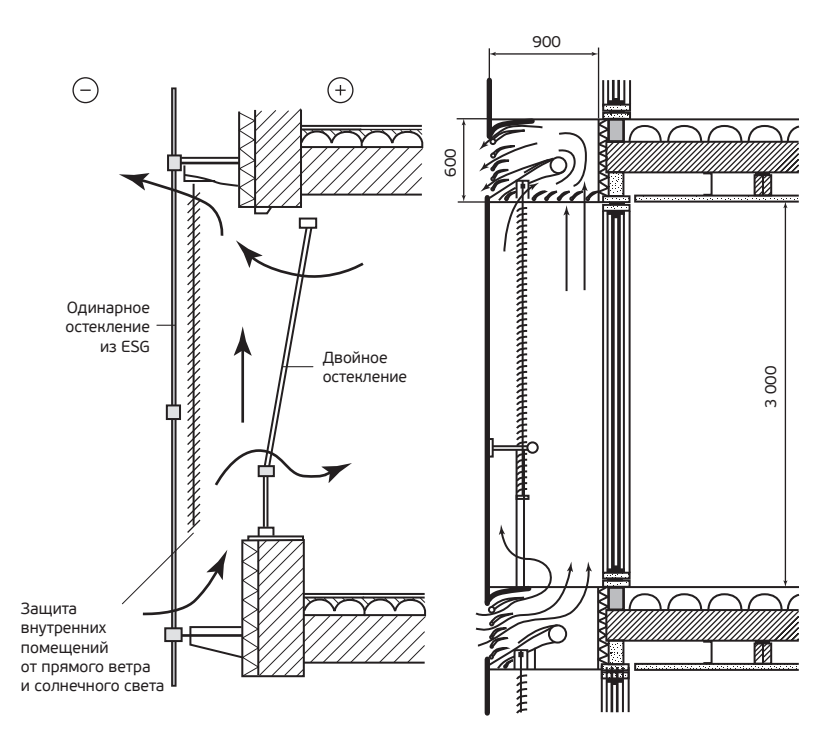
Конструкция двойного фасада

Фасад в районе атриума представляет собой обычную застеклённую конструкцию с открывающимися фрамугами, а вся остальная часть здания имеет двойной фасад, разделённый по вертикали поэтажными перекрытиями.

Принципиальная конструкция стеклянного двойного фасада приведена на рис. 4. Внешняя часть фасада прежде всего служит для защиты от наружных климатических воздействий в виде дождя и снега. Помимо этого, в ней расположены отверстия для притока наружного воздуха в вентиляционные короба и удаления отработанного воздуха из них, а также для проветривания промежуточного пространства и естественной вентиляции помещений. Одинарное остекление внешней части фасада создают отражающие стеклянные модули размером 3 × 1,5 м.

Секции внутренней части фасада имеют рамную конструкцию, как правило, с двойным остеклением, что обеспечивает снижение теплопотерь в зимнее время. При помощи поворотных створок рамы могут

РИС. 4. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ КОНСТРУКЦИЯ ДВОЙНОГО ФАСАДА С УСТРОЙСТВАМИ ВОЗДУХОЗАБОРА И ВОЗДУХОУДАЛЕНИЯ ЗДАНИЯ «ГОРОДСКИЕ ВОРОТА ДЮССЕЛЬДОРФА»



ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ КОНЦЕПЦИЯ ЗДАНИЯ «ГОРОДСКИЕ ВОРОТА ДЮССЕЛЬДОРФА»

- Двойной вентилируемый проходной фасад с регулируемыми наружными ограждениями.
- Повышенная тепло- и солнцезащита наружных ограждений за счёт отличных теплофизических характеристик применяемых материалов и конструкций.
- Естественная вентиляция помещений на протяжении продолжительного периода.
- Использование панелей, размещённых на потолке, для отопления и охлаждения помещений, отказ от отопительных приборов , размещаемых под окнами из-за снижения потерь теплоты в холодное время года – расчётный расход теплоты на отопление составляет всего 2,87 МВт.
- Пониженная до минимально необходимого уровня производительность системы кондиционирования воздуха за счёт снижения теплопоступлений в помещения в тёплое время года и использования естественной вентиляции.
- Максимальное использование источников возобновляемой энергии: холода грунтовых вод, теплоты удаляемого воздуха.

отклоняться в сторону офисных помещений (открывается каждый второй элемент на оси) с целью естественной вентиляции офисных помещений.

В промежуточном пространстве фасада размером 1,4 или 0,9 м размещаются вентиляционные короба, которые являются конструктивным элементом перекрытия двойного фасада и выполняют также функцию защиты от воздействия наружного климата. Короба для приточного и удаляемого воздуха монтируются вместе с основными конструкциями фасада на одном поясе с чередованием направления воздушного потока. Отверстия приточного и удаляемого воздуха на фасаде можно видеть как пояса, идущие вдоль здания, на соседних этажах они находятся напротив друг друга. Короба для приточного и удаляемого воздуха монтируются с чередованием направления воздушного потока для предотвращения «коротких замыканий» потоков воздуха (поступления отработанного воздуха в приточное отверстие вышележащего этажа). Внутри каждого вентиляционного короба находится клапан с поворотными створками, предназначенный для регулирования расхода воздуха и при необходимости полного перекрытия прохода воздуха. Отверстия для забора и удаления воздуха закрыты вентиляционными решётками для защиты от атмосферных осадков. Аэродинамическая оптимизация коробов была выполнена на основе моделирования методами вычислительной гидродинамики. При этом преследовалась цель создания равномерного потока воздуха и обеспечения низкого уровня шума.

Внутри двойного фасада располагаются также регулируемые устройства солнцезащиты, которые способствуют сокращению теплопоступлений от солнечной радиации в помещения и, как следствие, снижению расхода холода в системе кондиционирования воздуха в тёплое время года. В холодное время они играют роль экрана, уменьшающего поток теплового излучения в ночные часы из помещений наружу, что уменьшает энергопотребление.

Шанхайский всемирный финансовый центр (Шанхай, Китай)

Защита от шума

Частой причиной использования установок кондиционирования воздуха в здании, размещённом в городе, является повышенный уровень внешнего шума при открытых окнах. Уровень звукового давления в районе размещения «Городских ворот Дюссельдорфа» составляет приблизительно

70–75 дБ(А) и вызывается в первую очередь транспортом. Для обеспечения приемлемой защиты от внешнего шума при открытых оконных створках во внутренней части фасада шумоизоляция должна обеспечить снижение уровня звуковой мощности ориентировочно на 15–20 дБ. Если принять, что внутренняя часть фасада обеспечивает снижение уровня шума на 5–10 дБ в зависимости от величины открытия створок, то на внешней стороне фасада и во внутреннем пространстве уровень шума должен снижаться на 10 дБ. При этом следует учитывать, что снижение уровня шума во внешней части фасада зависит от степени открытия отверстий для прохода приточного и удаляемого воздуха. Фактически снижение шума во внешней части фасада при открытом воздушном клапане эквивалентно почти 10 дБ(А), а при клапане, открытом на 10 %, – 20 дБ(А). Требования по снижению шума во внутренней части фасада могут быть достигнуты за счёт увеличения звукоизоляции на внешней стороне фасада.

Температурный комфорт

Приведённый коэффициент теплопередачи двойного фасада имеет достаточно низкое значение, равное 1,1 Вт/(м²•°С). Кроме того, использование «тепличного» эффекта днём и снижение теплового излучения от наружной поверхности внутреннего остекления двойного фасада в ночное время обеспечивают дополнительную экономию теплоты. Даже в ранние утренние часы при температуре наружного воздуха –10 °С и температуре внутреннего воздуха 21 °С средняя температура внутренней поверхности двойного остекления составляет около 16,5 °С. При тех же температурных условиях в обычных фасадах с окнами, имеющими значение приведённого коэффициента теплопередачи 1,6 Вт/ (м²•°С), температура внутренней поверхности остекления составляет 14,5 °С.

Штаб-квартира компании «Новатэк» (Москва, Россия)

Для снижения теплопоступлений в летнее время при использовании двойных фасадов важен не только правильный выбор материалов и конструкции устройств солнцезащиты, но и их расположение во внутреннем пространстве двойного фасада. Регулируемое устройство солнцезащиты должно обдуваться потоком воздуха с боков и снизу, чтобы отводимая избыточная теплота под действием восходящих конвективных потоков «выводилась» вверх, а не проникала во внутренние помещения. Общий коэффициент проникания потока солнечной радиации через конструкцию двойного фасада составил не более 0,1, что подтвердили натурные измерения. Такое значение показателя для фасада с одинарной оболочкой может

Manitoba Hydro Place (Виннипег, Канада)

быть достигнуто только при использовании наружных пластинчатых отражателей.

При воздействии на фасад в летнее время прямых солнечных лучей во внутреннем пространстве фасада будет наблюдаться повышение температуры воздуха. Как показывает практика, при неверно выбранных конструктивных параметрах фасада температура воздуха внутреннего пространства может повышаться на 10 °С. Естественная вентиляция помещений здания в таких условиях должна быть значительно ограничена. Снизить температуру воздуха во внутреннем пространстве фасада возможно путём его вентилирования наружным воздухом. При этом должен быть обеспечен расход воздуха, необходимый для снятия перегрева, так что отверстия для притока и удаления воздуха на внешней части фасада должны иметь достаточные размеры для пропускания этого количества воздуха. В проекте «Городские ворота Дюссельдорфа» определено расчётом, что площадь сечения отверстий для прохода приточного и удаляемого воздуха должна составлять 0,15 м^2 на каждый метр периметра фасада. Было рассчитано, что температура воздуха во внутреннем пространстве фасада на среднем по высоте уровне не должна повышаться более чем на 4–6 °С при максимальном потоке солнечного излучения. Результаты расчётов были подтверждены натурными измерениями в летние месяцы, при этом повышение температуры воздуха во внутреннем пространстве зафиксировано ближе к нижней, чем к верхней границе указанного диапазона.

Оптимизация движения воздушных потоков в двойном фасаде

Повышение температуры воздуха во внутреннем пространстве фасада зависит от расхода воздуха, а он в свою очередь – не только от площади отверстий, но и от аэродинамического сопротивления по пути движения воздушных потоков. При этом наибольшее значение имеет гидравлическое сопротивление, определяемое внутренней геометрией вентиляционных коробов. Поэтому прежде всего необходимо стремиться к уменьшению именно этого сопротивления. Для этого в ходе разработки проекта были проведены многочисленные компьютерные расчёты, целью которых было достижение равномерного потока воздуха в вентиляционных коробах, т. к. даже небольшие углы и кромки могут вызывать завихрения воздушного потока, в значительной степени снижающие расход воздуха. При неблагоприятных условиях это может вызывать шум. Исследования по оптимизации конструкции вентиляционных коробов потребовали значительных затрат времени.

Две башни Международного финансового центра (Гонконг, Китай)

Как и предполагалось, в неоптимизированных в аэродинамическом отношении вентиляционных коробах при моделировании движения воздуха возникали обширные застойные и турбулентные зоны, повышающие аэродинамическое сопротивление и в условиях действия естественных сил уменьшающие расход воздуха. Для предотвращения таких явлений были сконструированы направляющие пластины, обеспечивающие наилучшие характеристики воздушного потока. Для жалюзи наружных решёток, защищающих от дождя, были выбраны хорошо обтекаемые потоком воздуха узкие профили, создающие незначительное сопротивление в условиях небольшого располагаемого естественного циркуляционного давления. Аэродинамическое сопротивление вентиляционных коробов удалось значительно снизить по сравнению с начальным значением. Оптимизация конструктивных параметров вентиляционных коробов также оказала положительное влияние на повышение температуры воздуха во внутреннем пространстве.

Конденсат

На внутренней поверхности внешней части фасада при определённых условиях может образовываться конденсат. Это явление возникает в холодное время года, когда влажный и тёплый воздух из помещений попадает во внутреннее пространство двойного фасада, а температура на внутренней поверхности внешней части фасада становится ниже температуры точки росы. Однако при достаточно интенсивном вентилировании внутреннего пространства фасада наружным воздухом этот конденсат быстро исчезает.

Давление на поверхности двойного фасада

При испытаниях модели здания в аэродинамической трубе определялись давление в атриуме и аэродинамические коэффициенты на поверхности фасадов и крыше. При этом выявилось, что распределение давления на поверхности фасада по горизонтали везде отличается большой неравномерностью, в то время как изменение давления по высоте здания остаётся сравнительно постоянным. Более заметные изменения отмечаются только на верхних этажах (в аттиковом пролёте), для которых из-за их протяжённости по длине и без того необходимо независимое управление воздушными клапанами на фасаде. Поэтому на фасадах офисных помещений нет необходимости зонирования регулируемых воздушных клапанов по высоте. Угловые зоны прохода внутреннего пространства двойного фасада из-за значительного изменения давления в этих зонах отделены от основного пространства по горизонтали стеклянными перегородками.

В середине внутреннего пространства фасада имеется отдельный участок с противопожарной лестничной клеткой, разделяющей проход. Тем самым становится излишним дополнительное разделение в горизонтальном направлении. Для контроля условий комфорта в офисных помещениях при повышенном давлении ветра на каждой башне проводятся измерения общего перепада давления между внешним фасадом и атриумом. Для этого достаточно четырёх мест измерения в каждой офисной башне.

Вентиляция двойного фасада

В здании «Городские ворота Дюссельдорфа» отдельные элементы двойного фасада установлены по горизонтали в чередующемся порядке – как вентиляционные короба, так и отверстия для приточного или удаляемого воздуха. Это означает, что в каждом втором модуле производится либо забор, либо удаление воздуха из пространства двойного фасада. Забор наружного воздуха в двойной фасад осуществляется через регулируемые воздушные клапаны, которые устанавливаются системой прямого цифрового управления зданием в соответствии с текущими наружными условиями в одно из трёх положений: «закрыто», «открыто», «защита от дождя».

Если температура наружного воздуха и интенсивность солнечного излучения уменьшаются ниже определённого уровня, воздушные клапаны на внешнем фасаде закрываются. Оставляют открытыми только небольшие щели для предотвращения выпадения конденсата на поверхности остекления во внутреннем пространстве фасада.

При усилении ветра для обеспечения комфорта воздушные клапаны внешнего фасада вначале

КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА. ЧАСТЬ 1

В серии «Техническая библиотека НП “АВОК”» долгожданная новинка – книга М. Г. Тарабанова, являющегося одним из ведущих российских специалистов в области кондиционирования воздуха. В книге в доступной форме изложены теоретические вопросы и практические аспекты кондиционирования воздуха.

Монография представляет собой авторскую книгу о кондиционировании, в которой Михаил Григорьевич рассмотрел только те проблемы и решения, к которым имел непосредственное отношение и в которые смог привнести что-то своё.

Первая часть монографии состоит из двух глав. В главе 1 «Основные положения термодинамики влажного воздуха» основное внимание уделено i-d диаграмме влажного воздуха: её знание и умение работать с ней являются обязательными требованиями для любого специалиста в области кондиционирования воздуха; рассмотрены отличия между i-d и h-d диаграммами. В главе 2 «Системы кондиционирования воздуха» дана классификация систем кондиционирования воздуха и рассмотрены почти все известные системы; приведены примеры их расчёта, взятые из реализованных проектов.

Запланирован выход второй части книги, в которой предполагается три главы: «Нагревание воздуха», «Увлажнение воздуха» и «Холодоснабжение СКВ».

Издание адресовано проектировщикам, наладчикам и эксплуатационникам систем кондиционирования воздуха, научным работникам, преподавателям, студентам вузов и аспирантам.

Pearl River Tower (Гуанчжоу, Китай)

устанавливаются в промежуточное положение, а затем полностью закрываются. В случае если ветер достигает интенсивности урагана, воздушные клапаны вновь открываются для снятия статической нагрузки. Наряду с этим пользователь всегда имеет возможность открыть оконные створки внутренней части фасада и проветрить свой офис путём естественной вентиляции. При этом может осуществляться ночное охлаждение отдельных офисов. Таким образом, реализуется регулирование, предусматривающее простое автоматическое открытие или закрытие воздушных клапанов во внешней части фасада или оконных створок во внутренней части фасада самим пользователем.

Результаты

Были проведены натурные измерения параметров микроклимата. Наряду с температурой и скоростью воздуха измерялись также локальная асимметрия результирующей температуры и распределение температуры воздуха по высоте помещения. Если соответствующие значения параметров превышают допустимые пределы, люди в помещениях чувствуют сильный дискомфорт. Но, как и ожидалось, таких критических условий в здании «Городские ворота Дюссельдорфа» не отмечалось. Все измеренные значения параметров воздуха находились в допустимых пределах, и было показано, что установившие в действительности значения контролируемых параметров являются для людей ещё более благоприятными, чем предсказываемые по результатам моделирования и лабораторных испытаний, проводившихся при менее жёстких предельных значениях. Например, при температуре

наружного воздуха меньше 0 °С разность температуры внутреннего воздуха и температуры на внутренней поверхности остекления в помещении составила 1–2 °С. При том что, согласно данным предварительных испытаний и расчётов, эта разность температур должна была составить 3–4 °С. Такие хорошие результаты можно объяснить достаточно низким значением общего приведённого коэффициента теплопередачи (порядка 1 Вт/ (м²•°С)) двойного фасада. Это совпадает с оценкой людей, работающих в помещениях здания, которые единодушно заявляют об очень хорошем качестве микроклимата даже в холодные зимние дни.

В проекте «Городские ворота Дюссельдорфа» устройство двойного фасада доказало свою экономическую эффективность. Предполагая, что двойной фасад используется в течение 30 лет и ставка дисконтирования составляет 8 %, получена ежегодная сумма приведённых капитальных затрат и амортизационных отчислений от 53 до 160 евро на 1 м² фасада. Кроме того, были учтены дополнительные затраты на поддержание конструкций фасада в исправном состоянии и на очистку, которые составили соответственно от 3 до 8 евро на 1 м² в год и 8 евро на 1 м² в год при очистке поверхностей фасада, выходящих во внутреннее пространство, два раза в год. Общие годовые затраты составили от 64 до 176 евро на м² поверхности фасада.

Затраты на сооружение стеклянного двойного фасада не превысили стоимость высококачественного фасада с одинарной оболочкой, обладающего аналогичными теплофизическими характеристиками. Это обусловлено, с одной стороны, простотой принятых решений и большим объёмом проведённых предварительных работ по оптимизации конструктивных параметров, а с другой, хорошими ценами за работу, которые предложил подрядчик.

Литература

1. Здание биоклиматической архитектуры – «Городские ворота Дюссельдорфа» // АВОК. 2006. № 2, 3.
2. Инженерное оборудование высотных зданий / под ред. М. М. Бродач. 2-е изд., испр. и доп. М.: АВОК-ПРЕСС, 2011.
3. Покорение климата / Б. Кувабара и др. // Здания высоких технологий. 2012. Осень.
4. Табунщиков Ю. А., Бродач М. М., Шилкин Н. В. Энергоэффективные здания. М.: АВОК-ПРЕСС, 2003.
5. Шилкин Н. В. Возможность естественной вентиляции для высотных зданий // АВОК. 2005. № 1.
6. Шилкин Н. В. Здание высоких технологий // АВОК. 2003. № 7.
7. Gertis K. Стеклянные двойные фасады. Имеют ли смысл, с точки зрения строительной физики, новые разработки фасадов? // АВОК. 2003. № 7, 8; 2004. № 1.
8. Poirazis H. Double Skin Façades for Office Buildings. Lund University, 2004.