

2 лекция. Оптимизация геометрии формы архитектурных объектов с целью повышения их энергоэффективности.

Краткая аннотация:

На примерах из современной архитектурной практики показывается, как изменение геометрии архитектурных объектов влияет на их энергоэффективность.

Лекционный материал:

Известно, что интенсивность солнечной радиации, скорость и направление ветра, температура наружного воздуха изменяются в весьма широких пределах в зависимости от географического положения, орографии, микрорельефа местности и времени года. Воздействие наружного климата на ограждающие конструкции здания целесообразно характеризовать метеорологическим градиентом, который учитывает направление, величину и повторяемость показателей наружного климата. Статистическая обработка наружного климата как совокупности зависимых (или независимых) случайных величин показывает, что в каждой местности для отдельных характерных периодов времени имеет место свой метеорологический градиент, оказывающий направленное воздействие на формирование теплового баланса различно ориентированных помещений, так что в результате совокупного действия ветра, солнечной радиации и температуры различно ориентированные помещения имеют существенно отличающиеся теплотери или теплоступления.

Теплоэнергетическое воздействие наружного климата на тепловой баланс здания может быть оптимизировано за счет выбора формы здания, расположения и площади заполнения световых проемов, регулирования фильтрационных потоков. Например, удачный выбор формы, ориентации и размеров здания дает возможность в теплый период года уменьшить воздействие солнечной радиации на оболочку здания, и, следовательно, снизить затраты на его охлаждение.

Рассмотрим возможность оптимизации теплоэнергетического воздействия наружного климата на тепловой баланс здания путем изменения его формы и ориентации.

При отсутствии солнечной радиации и ветра и при отрицательных значениях температуры наружного воздуха наименьшие теплотери через ограждения обеспечивает сферическая форма здания. Наиболее приближенной к сфере фигурой является куб. Следовательно, если имеет место только температурное воздействие наружного климата на здание, то идеальной формой здания является куб. Но теплоэнергетическое воздействие солнечной радиации и ветра на различно ориентированные поверхности здания также различно. Для увеличения теплоступлений от солнечной радиации в зимнее время необходимо увеличить площадь ограждений южной ориентации, так как в зимнее время на поверхность южной ориентации поступает тепла солнечной радиации даже больше, чем в летнее. Таким образом, чтобы оптимальным образом учесть влияние солнечной радиации и ветра на тепловой баланс здания, его форма должна быть изменена от кубической к параллелограмму.

Наружные ограждающие конструкции защищают помещение от непосредственных атмосферных воздействий, а системы отопления и вентиляции поддерживают определенные параметры внутреннего климата. В общем случае можно считать, что влияние солнечной радиации на тепловой баланс помещения в холодный период года является положительным, а в теплый период года отрицательным; влияние ветра, наоборот, в холодный период года является отрицательным, а в теплый период года это явление может быть в дневное время отрицательным, а в ночное – положительным. Особое значение имеет то обстоятельство, что количественное влияние солнечной радиации и ветра на тепловой баланс здания при одной и той же общей полезной площади

или при одном и том же полезном объеме зависит от его ориентации и габаритов. Действительно, здание, расположенное на юге и имеющее широтную ориентацию, получает большее количество тепла в зимнее время, чем здание, имеющее меридиональную ориентацию. В то же время здание, расположенное развитой поверхностью к господствующему направлению ветра, будет терять в зимнее время больше тепла. Следовательно, имеет смысл говорить об оптимизации влияния солнечной радиации и ветра на тепловой баланс здания. Возможно определить ориентацию и габариты здания, наиболее эффективного в тепловом отношении, то есть здания с минимальными теплопотерями в холодный период года и минимальными теплопоступлениями в теплый период года, за счет оптимального учета в тепловом балансе здания теплоэнергетического воздействия солнечной радиации и ветра на различно ориентированные поверхности.

Методология оптимизации формы здания для максимального использования положительного и минимизации отрицательного воздействия наружного климата на тепловой баланс здания основана на расчетах тепловых и воздушных балансов здания для характерных периодов года. Например, для России этими периодами года являются: наиболее холодная пятидневка, отопительный период, самый жаркий месяц, период охлаждения, расчетный год. В этом случае оптимизация теплоэнергетического воздействия наружного климата на тепловой баланс здания за счет выбора его формы и ориентации даст следующие результаты:

- для наиболее холодной пятидневки – снижение установочной мощности системы отопления;
- для отопительного периода – снижение затрат теплоты на отопление;
- для самого жаркого месяца – снижение установочной мощности системы кондиционирования воздуха;
- для периода охлаждения – снижение затрат энергии на охлаждение здания;
- для расчетного года – снижение затрат энергии на обогрев и охлаждение здания.

В общем случае оптимизировать теплоэнергетическое воздействие наружного климата на тепловой баланс здания можно для любого характерного периода времени.

Важно отметить следующее: изменение формы, размеров и ориентации здания с целью оптимального учета влияния наружного климата в его тепловом балансе не требует изменения площадей или объема здания – они сохраняются фиксированными.

Точное решение задачи по выбору оптимальной формы здания впервые в мире на практике было получено М. М. Бродач и опубликовано в [Бродач М. М. Изопериметрическая оптимизация солнечной энергоактивности зданий. - Гелиотехника 2, Ташкент, 1990], а решение задачи по выбору оптимальных размеров и ориентации здания прямоугольной формы, а также значения показателя тепловой эффективности проектного решения приведены в [Бродач М. М. Энергетический паспорт зданий – АВОК, 1993, № 1/2].

Проведенные сопоставительные расчеты показали, что для здания, расположенного в Москве, оптимальный учет теплоэнергетического воздействия наружного климата на здание путем изменения его размеров позволяет снизить удельный расход тепловой энергии на отопление на 23%.

Ниже рассмотрим известные в мировой архитектурной практике примеры обоснованного выбора архитектурной формы и ориентации здания с учетом направленного воздействия наружного климата.

Примером обоснованного выбора архитектурной формы и ориентации здания с учетом

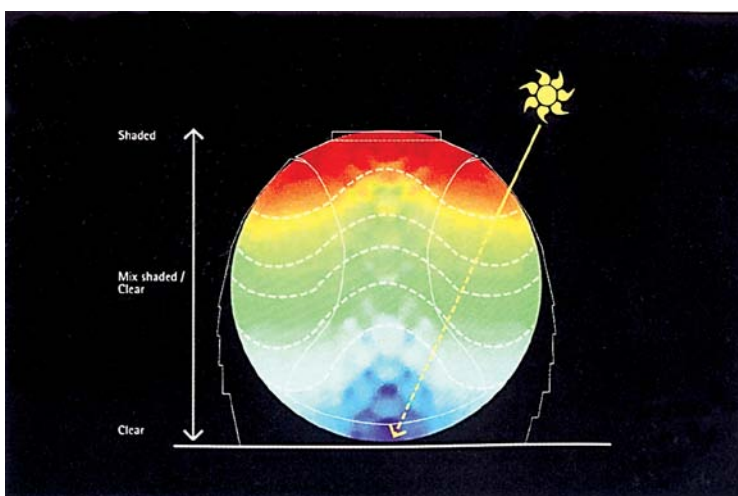
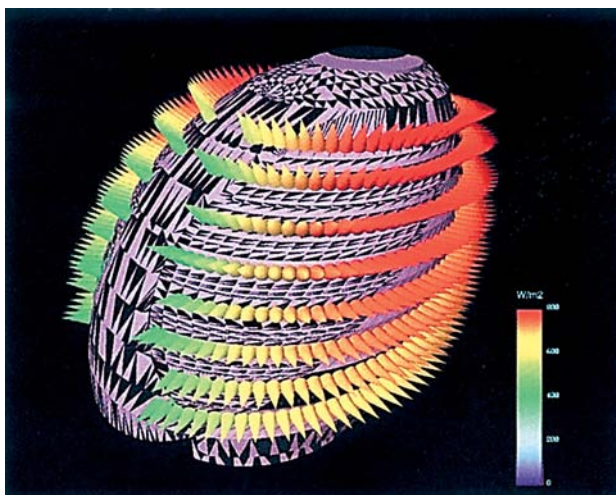
направленного воздействия солнечной радиации является новое здание Мэрии Лондона (архитектор Сэр Норман Фостер). Пример выбора архитектурной формы и ориентации здания с учетом направленного воздействия ветра – стадион «Sapporo Dome» в Японии (архитектор Хироши Хара).

Необычная форма здания Мэрии Лондона определяется энергетическим воздействием наружного климата на оболочку здания и позволяет наилучшим образом использовать положительное и максимально нейтрализовать отрицательное воздействие наружного климата на энергетический баланс здания.



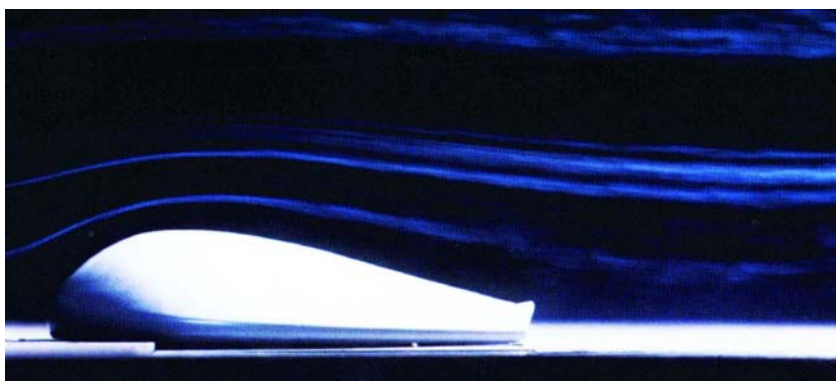
Здание Мэрии Лондона (архитектор Сэр Норман Фостер)

Для определения формы, ориентации и размеров здания использовались методы компьютерного моделирования. Были построены математические модели нагрузки на систему климатизации в летний и зимний период с учетом теплотерь и теплопоступлений через оболочку здания. Учитывалось направленное влияние наружного климата на оболочку здания. Анализ этих моделей позволил определить форму здания, приближенную к оптимальной, при этом в качестве «точки отсчета» было выбрано значение максимально допустимых теплопоступлений от солнечной радиации через единицу площади наружных ограждающих конструкций в летний период. Проведенные расчеты позволили выбрать такие форму, ориентацию и размер здания, площадь и расположение светопрозрачных ограждающих конструкций, которые дали возможность в теплый период года минимизировать воздействие солнечной радиации на оболочку здания, и, следовательно, снизить затраты на его охлаждение. Минимизация потребности в охлаждении здания в летний период позволила, в свою очередь, отказаться от традиционной системы кондиционирования воздуха – для холодоснабжения здесь используются грунтовые воды с относительно низкой температурой.



Компьютерное моделирование теплотерь и теплопоступлений через оболочку здания

Выбор формы и ориентации купола стадиона «Sapporo Dome» был обусловлен минимизацией снеговой нагрузки и уменьшением влияния холодных северо-западных ветров. Накопление снега на поверхности купола сведено к минимуму, так как большая ось купола ориентирована вдоль господствующего направления ветра, а профиль кровли аэродинамически благоприятен для сдува снега. На западной стороне стадиона размещена группа деревьев, образующая снего- и ветрозащитную полосу. Все въезды в спорткомплекс во избежание снежных заносов выполнены подземными.



Моделирование ветрового воздействия на купол стадиона «Sapporo Dome» в зимний период

Для обеспечения нормального роста травы на футбольном поле требовалось солнечное

освещение – не менее четырех часов ежедневно. Традиционно для этого используются раздвижные или убирающиеся покрытия, однако большая снеговая нагрузка не позволяло использовать такое решение. Единственным вариантом оставалось перемещение самого футбольного поля. Естественный футбольный газон размером 120 на 85 метров весит 8300 тонн. Это первая в мире «висячая арена». Она может, «паря» на воздушной подушке, перемещаться со скоростью 4 метра в минуту при помощи 34 колес. Футбольная арена устанавливается вне стадиона на открытой площадке. Арена может разворачиваться, ориентируясь на солнечное освещение, что позволяет улучшить условия роста травы на газоне.



Стадион «Sapporo Dome» (архитектор Хироши Хара)

Ориентация и форма зданий и их энергоэффективность

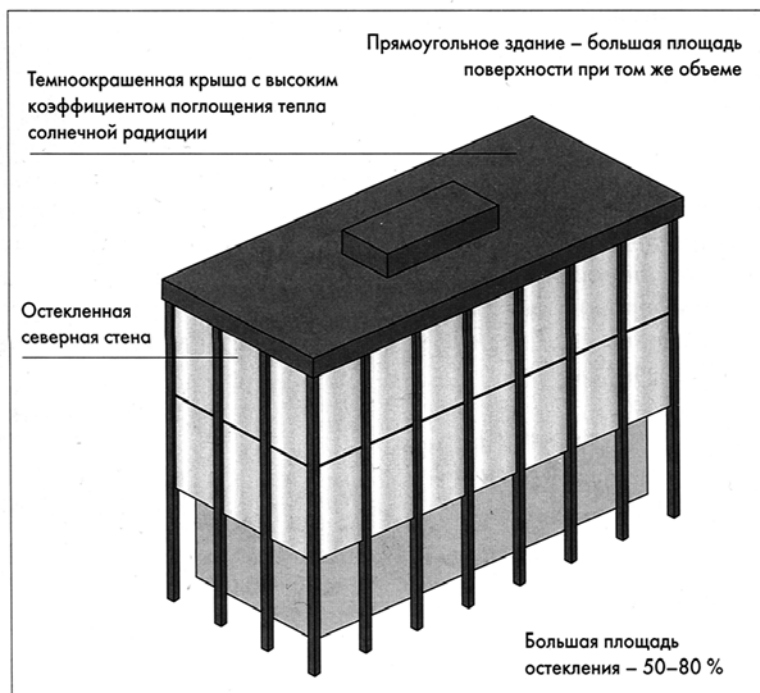
Первое демонстрационное энергоэффективное здание, Манчестер, Нью-хэмпшир, США

арх. N. Isaak и A. Isaak, 1972 г.

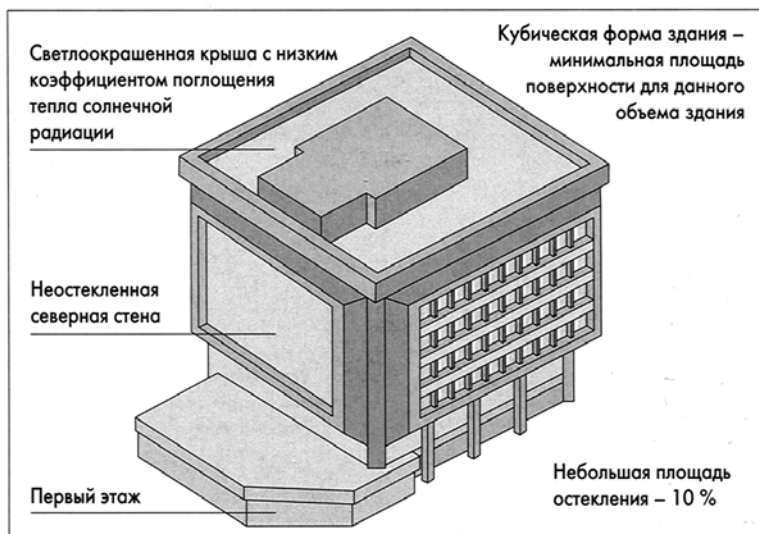


В части выбора формы и ориентации здания было установлено, что «размеры и ориентация места застройки ограничивают выбор оптимальной формы здания и его ориентацию с точки зрения энергосбережения»: прямоугольная в плане форма здания с длинными фасадами, обращенными к югу и северу, «уменьшает теплопоступление от солнечной радиации в летнее время, при этом в зимнее время, когда солнце расположено

низко над горизонтом, имеется возможность использовать тепlopоступление от солнечной радиации». Однако размеры строительной площадки не позволили построить здание такой формы и ориентации.



Здание первоначально предлагаемого проекта

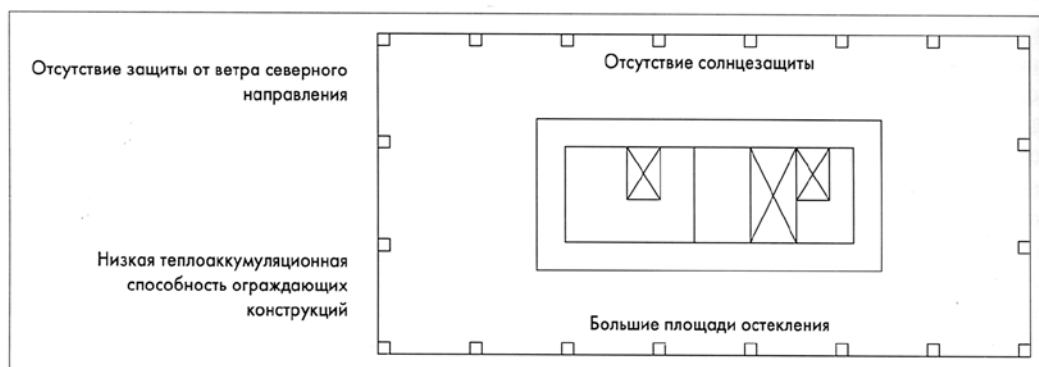


Принятое к проектированию энергоэффективное здание

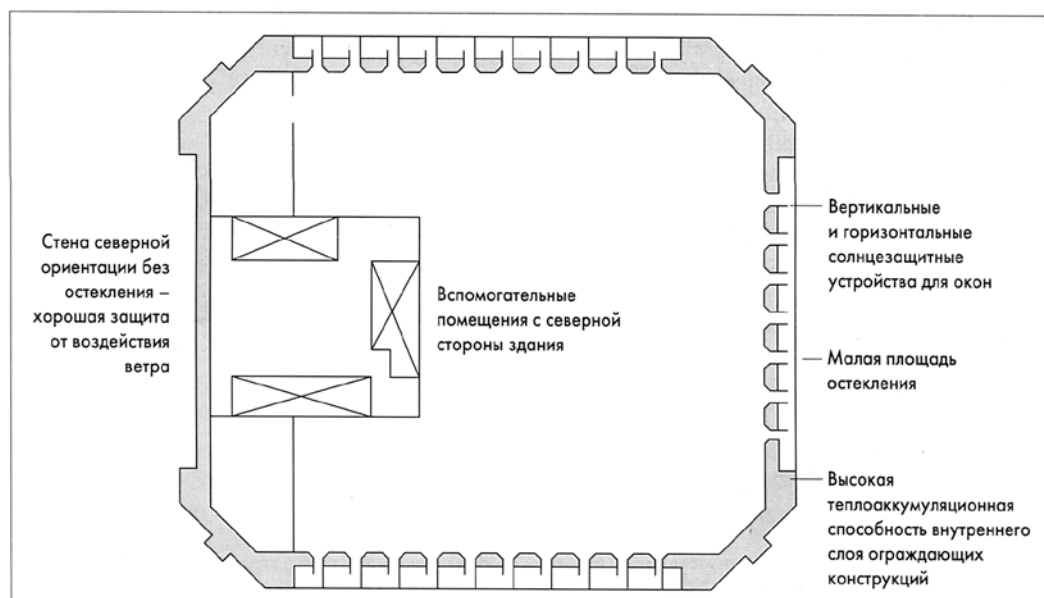
Инфильтрационные теплотери через наружные ограждающие конструкции здания, вызванные ветровым воздействием, могут быть уменьшены за счет использования особенностей места застройки или путем оптимизации аэродинамики самого здания – выбора его оптимальной формы по отношению к господствующему направлению ветра или за счет использования ветрозащитных ребер, барьеров и т.д.

Изначально узкое прямоугольное здание меридиональной ориентации с длинным фасадом, обращенным непосредственно к солнечной западной стороне, было трансформировано в практически кубическую форму. В результате принятого решения о придании зданию

кубической формы появилась необходимость в ограничении площади остекления. В окончательном варианте проекта был принят коэффициент остекления 12% на западном, восточном и южном фасадах (окна размером 0,6x1,5 м через каждые 3 м) и отсутствие остекления на северном фасаде здания. Решение по отсутствию остекления на северном фасаде было принято с целью снижения теплопотерь здания. У северной стены на всех этажах расположены вспомогательные помещения, в которых по нормативам не требуется естественного освещения.



Форма здания первоначально предлагаемого проекта



Принятая к проектированию форма энергоэффективного здания

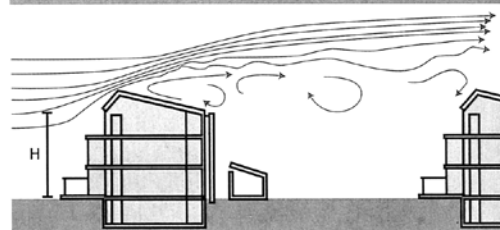
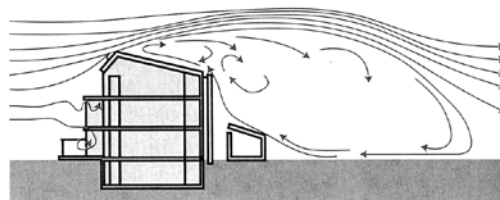
Экспериментальный жилой район VIIKKI, Хельсинки, Финляндия



Застекленные лоджии обеспечивают предварительный подогрев приточного воздуха в холодный период



Для обеспечения поступления тепла солнечной радиации в зимние месяцы все здания длинными фасадами ориентированы на южную и юго-западную сторону. Здания расположены таким образом, что все дворы освещаются солнцем до вечера.



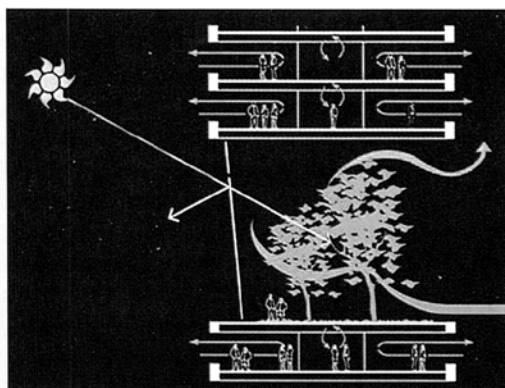
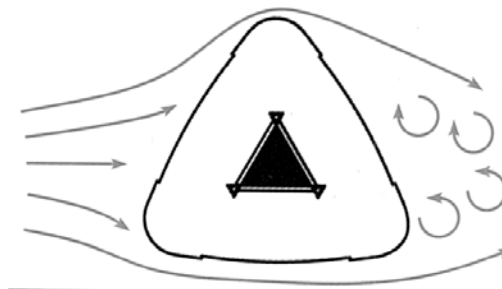
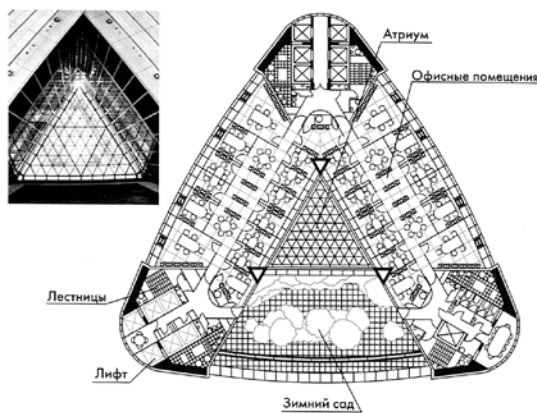
Влияние формы и расположения зданий на ветровые потоки



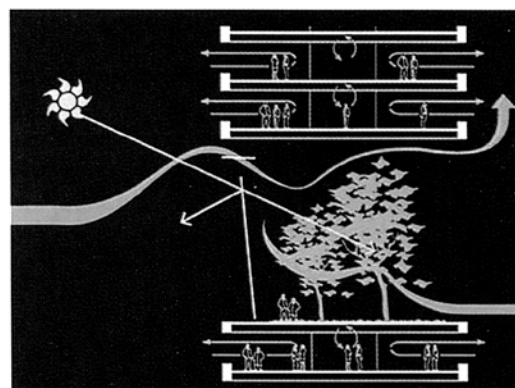
Городская структура VIIKKI имеет однородную, компактную организацию. Район имеет небольшие здания с 1–3 уровнями. Такая низкая однородная структура в совокупности с множеством ограждений от ветра позволяет создать в районе приятный микроклимат

При проектировании района учитывались местные климатические особенности, способствующие повышению комфортности застройки и снижению энергетической нагрузки на тепло- и энергоснабжение зданий. Ориентация зданий выбиралась так, чтобы максимально использовать тепло и свет солнечной радиации, т.е. ориентация фасадов и большой площади остекления на юг. Размещение галерей для прохода на южной стороне зданий улучшило защиту от ветра. Изучалось влияние формы и расположения зданий на ветровые потоки.

**Высотное здание «COMMERZBANK»,
Франкфур-на-Майне, Германия
арх. «Foster & Partners», 1997 г.**



Естественная вентиляция здания в зимний период

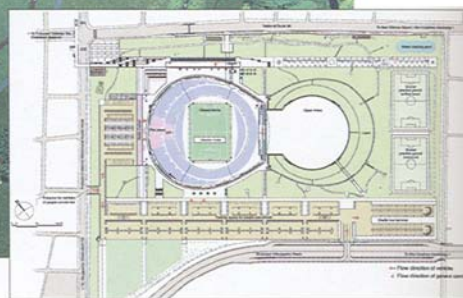
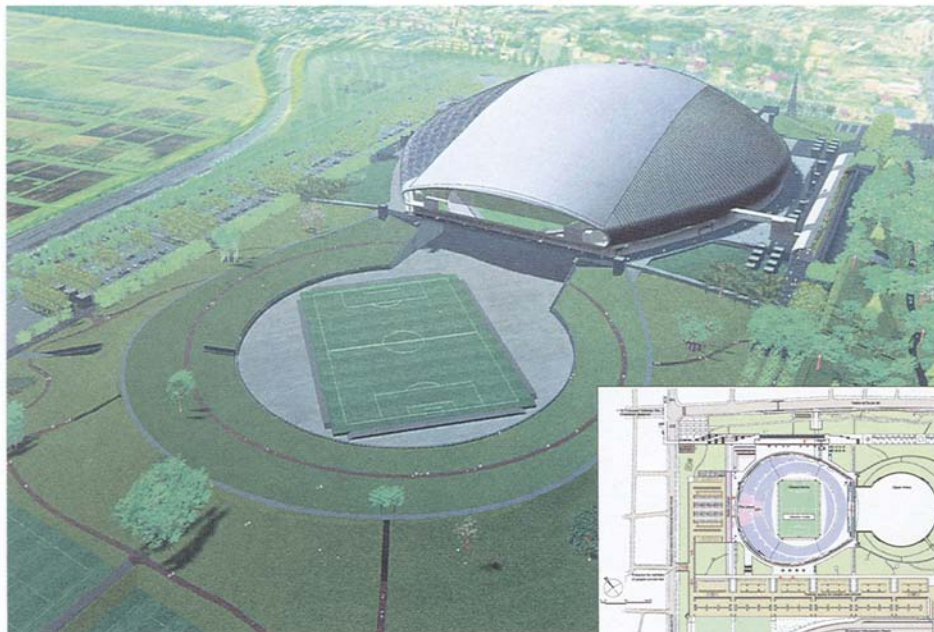


Естественная вентиляция здания в летний период

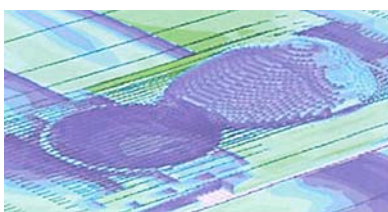
Аэродинамические исследования, проведенные при средней скорости ветра во Франкфурте-на-Майне (приблизительно равной 4 м/с), а также для известных геометрических размеров здания, показали, что воздушные потоки, возникающие под действием ветрового давления, будут способствовать естественной вентиляции здания в течении всего года при открытии соответствующих элементов окон.

Спорткомплекс «Sapporo Dome», Саппоро, Япония

арх. Н. Hara, 2002 г.



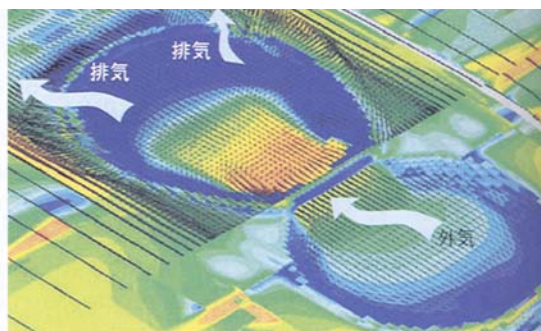
«Двойная арена»



Моделирование ветрового воздействия на купол стадиона в зимний период



Крытая арена частично заглублена в грунт



Моделирование естественной вентиляции в летний период

Выбор ориентации стадиона был обусловлен минимизацией снеговой нагрузки уменьшением влияния холодных северо-западных ветров. Накопление снега на поверхности купола сведено к минимуму, так как большая ось купола ориентирована вдоль господствующего направления ветра, а профиль кровли аэродинамически благоприятен для сдува снега. На западной стороне стадиона посажена группа деревьев, образующих снего- и ветрозащитную полосу со стороны Хитцутжигаока. Все въезды в спорткомплекс во избежание снежных заносов расположены под землей.

Сводка расчетных формул для определения оптимальных размеров зданий различной формы с минимальными удельными теплопотерями или теплоступлениями						
Форма здания	Наложения ограничения	Оптимальные размеры здания			число этажей, Z	Минимальные удельные теплопотери q_F , Вт /м ²
		в плане, м				
		a	b			
	$F_0 = \text{const}$ $H = \text{const}$ $a = c$ $b = d$	$\sqrt[3]{\frac{HF_0}{(q_{fl} + q_{roof})} \frac{(q_b + q_d)^2}{(q_a + q_c)}}$	$\sqrt[3]{\frac{HF_0}{(q_{fl} + q_{roof})} \frac{(q_a + q_c)^2}{(q_b + q_d)}}$	$\frac{F_0}{ab}$	$\sqrt[3]{\frac{H^2}{F_0} (q_{fl} + q_{roof}) (q_a + q_c) (q_b + q_d)}$	
	$F_0 = \text{const}$ $H = \text{const}$ $a = c$ $b = d$ $Z = \text{const}$	$\sqrt{\frac{F_0}{Z} \frac{(q_b + q_d)}{(q_a + q_c)}}$	$\frac{F_0}{aZ}$	Z	$\frac{(q_{fl} + q_{roof})}{Z} + 2\sqrt{\frac{H^2}{F_0} Z (q_a + q_c) (q_b + q_d)}$	
	$F_0 = \text{const}$ $H = \text{const}$ $a = c$ $b = d$	$\sqrt{\frac{HF_0}{b} \frac{(q_b + q_d)}{(q_{fl} + q_{roof})}}$	b	$\frac{F_0}{ab}$	$\frac{H(q_a + q_c)}{b} + 2\sqrt{\frac{H^2}{F_0} b (q_b + q_d) (q_{fl} + q_{roof})}$	
	$F_0 = \text{const}$ $H = \text{const}$ $a = c$ $b = d$ $a = \text{const}$	a	$\sqrt{\frac{HF_0}{a} \frac{(q_a + q_c)}{(q_{fl} + q_{roof})}}$	$\frac{F_0}{ab}$	$\frac{H(q_b + q_d)}{a} + 2\sqrt{\frac{H^2}{F_0} a (q_a + q_c) (q_{fl} + q_{roof})}$	
	$F_0 = \text{const}$ $a = \text{const}$	$\sqrt[3]{\frac{q_{vert} HF_0}{(q_{fl} + q_{roof})}}$		$\frac{F_0}{a^2}$	$\sqrt[3]{\frac{H^2}{F_0} q_{vert}^2 (q_{fl} + q_{roof})}$	
	$F_0 = \text{const}$ $a = b$	$\sqrt[3]{\frac{(\sqrt{2}q_c + q_a + q_b) 2HF_0}{(q_{fl} + q_{roof})}}$	$\sqrt{2}a$	$\frac{2F_0}{a^2}$	$\sqrt[3]{\frac{H^2 (q_a + q_b + \sqrt{2}q_c)^2 (q_{fl} + q_{roof})}{2F_0}}$	

Таблица расчетных формул определения оптимальных размеров зданий различной формы с минимальными удельными теплопотерями или тепlopоступлениями