

**DETAIL – Журнал по архитектуре**

2008 □ 7/8 · Большепролетные конструкции

**Резюме на русском языке**Перевод:  
Irina Duck, Architektin  
E-Mail: irina.duck@duck.de**Предварительный просмотр всех проектов с графическими материалами Вы найдете на:****<http://www.detail.de/Archiv/De/HoleHeft/207/ErgebnisHeft>****Резюме на русском языке****страница 734****One World One Dream? Новые строения для нового Китая**

Франк Калтенбах

Уже более 2000 лет Великая Китайская стена – это не только самое большое, но и самое известное сооружение Китая. Здесь 15-ти метровыми буквами, укрепленными на металлической конструкции, была увековечена фраза: «One World One Dream» (пер. с англ. Один Мир Одна Мечта), официальный девиз Олимпийских игр 2008 года. Реклама приема заявок на проведение Игр проходила под девизом «Green Games» – спортивные сооружения и новые здания должны были отвечать высоким экологическим и ресурсосберегательным стандартам и технически быть на самом высоком уровне. На программу охраны окружающей среды по официальным данным было запланировано выделить 11 млрд. евро. Для многих иностранных участников в соревновании за право проведения Игр впервые стояло почти неразрешимое задание: с одной стороны – умудриться сделать убедительную картину празднеств Олимпийской идеи и соответствующим образом представить страну-хозяина, и с другой – не злоупотребить инструментами пропаганды националистических интересов.

*Государственное Китайское Центральное Телевидение ГКЦТ*

Точно к началу Олимпиады Центральное телевидение Китая ГКЦТ хотело показать мировому обществу на примере до сих пор еще неизвестного здания, что технический прогресс доступен также и средствами массовой информации Китая и, таким образом, попытаться снять с подвешенного цензуре правительственного органа обвинения в недостатках. Борцы за права человека критикуют, что необходимые для него земельные участки и квартиры, находящиеся в прибыльном центральном районе, отчуждались за слишком низкое возмещение. В результате, на основе своей выразительной архитектоники, появился

впечатляющий символ страны, который будет причислен к иконам мировой архитектуры.

*Терминал-3 аэропорта*

По размерам на данный момент только одно здание оспаривает право у ГКЦТ быть первым зданием Пекина: новый Терминал-3 аэропорта, построенный по проекту Нормана Фостера. В то время как в большинстве стран гостей принимают низкие, узкие, трубообразные здания, Терминал-3 поражает своими грандиозными пространствами и наводит на мысль, что кафедральными соборами 21-ого столетия станут аэропорты.

*Bird's Nest/Watercube*

Олимпийский стадион «Птичье гнездо» (Bird's Nest) и кубический бассейн «Водяной куб» (Watercube) должны были олицетворять противоположности Инь и Янь. Но вместо гармоничного равновесия стальной корсет стадиона уже даже из-за его высоты в 70 м высоты, можно сказать, господствует над плавательным бассейном высотой в 31 м. Самое сильное в пространственном смысле преимущество «Птичьего гнезда» – окружающие стадион галереи. По широким лестницам, следующим наверх за диагональными раскосами, попадают на эмпоры, которые привлекают внимание в первую очередь не на гаревую дорожку, а, через открытую стальную структуру как через калейдоскоп, на открывающиеся виды окрестностей. В то время как стадион предстает открытой комплексной структурой вокруг ясного структурированного внутреннего пространства, плавательный зал внутри – это открытый комплексный организм с множеством различных помещений, где мильонизырячая оболочка здания присутствует во всем здании и не отрывается от своего содержания. Даже в темноте, если сильное воздействие соседнего «Птичьего гнезда» подчеркивается эффектным освещением, и стальные раскосы силуэтно выделяются на красном фоне внутреннего ядра здания, «Водяной куб» напоминает светящийся синий фонарь и остается снаружи непро-

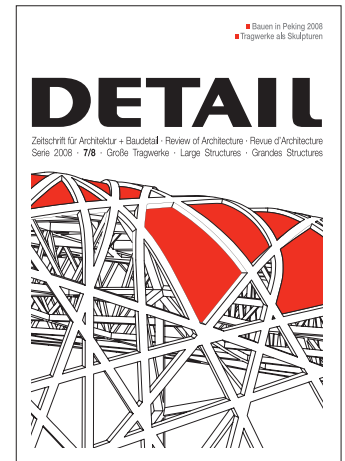
зрачным. Но впечатление еще больше потрясает, когда окунешься во внутреннее пространство. Двойной фасад совершенно уводит от реальной жизни, белые конструкции встроенных в интерьер частей на фоне «воды»-пленки кажутся окутанными туманом. Единственным цветом и магнитом для глаз является синий цвет бассейна.

*Olympic Green / другие олимпийские постройки*

В связи с «Водяным кубом» можно перечислить дальнейшие олимпийские постройки, рассыпанные, как жемчужная нитка, на север: Центр средств массовой информации «Digital Beijing» архитекторов Цху Пей, при этом его можно назвать самым амбициозным. Далее следует конечно связаный с «Водяным кубом» олимпийский зал «National Indoor Stadium», построенный по проекту нюрнбергского архитектурного бюро Глокнер Architekten. Его изогнутая крыша должна символизировать легкость и ритм спортсменов, наружное сплошное остекление фасадов позволяет раскрыть внутреннюю жизнь стадиона снаружи. К северу от стадиона «Indoor» следует Центр конгрессов «National Convention Center» с временными постройками для фехтования, хоккея на траве, стрельбы из лука, и, наконец, на самом севере крупный спортивный теннисный центр «Olympic Green» с трибунами для болельщиков. К югу от «Птичьего гнезда» по городской скоростной магистрали находится стадион «Olympic Sports Center», который был сооружен еще для Игр Азии 1990 года, но для проведения современного пятиборья Олимпиады полностью санирован и расширен. Остальные, в целом 31 спортивных центров Пекина, распределены на северных территориях города, вдоль кольцевых магистралей.

**страница 768****Эллинг для хранения лодок в Пуи он-Оксуа (Pouilly en-Auxois)**

Центр Интерпретасион дю Канал (d'interprétation du Canal) Бургундии – это часть



культурного проекта исторического водно-го пути центральной Франции. Оба главных корпуса, кубический павильон музея (см. Detail 7/8 2007 г.) и цилиндрический по форме эллинг, были построены в 2004 году по проекту Шигеру Бана (Shigeru Ban). Несущая конструкция помещения для хранения лодок (длина 30 м, диаметр 11 м) выполнена методом пространственных картонных трубчатых конструкций, с давних пор являющимся основой экспериментов в творчестве японского архитектора. В качестве узлового соединительного элемента Бан впервые здесь использует отлитые под давлением алюминиевые заготовки. Они крепятся к трубам из вторичного картона деревянными дюбелями и страхуются болтами. Но, несмотря на высокую устойчивость этих узлов, ветровые нагрузки должны были восприниматься двумя дополнительными решетчатыми арками, установленными по торцам цилиндрического свода. Кроме того, в целях защиты от влаги две пары скрещивающихся арок и опорный пояс выполнены из алюминия. Таким образом, конструкция приобрела гибридный характер. Для защиты лодок от непогоды своды покрыты плитами из поликарбоната, смонтированными по горизонтальным алюминиевым профилям.

План • Поперечный разрез • Продольный разрез  
Масштаб 1:400

- 1 решетчатая оболочка из картонных труб
- 2 решетчатая арочная ферма, алюминий
- 3 алюминиевые заготовки, отлитые под давлением
- 4 труба из вторичного картона Ø 120 мм толщина стенки 22 мм
- 5 дюбель из бука Ø 75 мм

## страница 771

### Национальный стадион в Пекине

*Герцог & де Меро*

Национальный стадион находится на легком возвышении в центре Олимпийского комплекса на севере Пекина. Положение было определено генеральным планом. Нашей самой важной идеей было разработать архитектуру, которая бы смогла функционировать и после игр 2008 года, т.е. создать новый живой и привлекательный городской центр. Когда находишься на внутреннем пандусе стадиона, он становится похожим на сосуд с волнообразным краем. Отчетливо издалека прочитывается и сетчатая структура несущей конструкции, которая не только оборачивает объем здания, но как бы проникает в него. То, что узнаваемо как ясный четкий контур, при приближении испаряется и превращается в отдельные, могущественные составные части, формирующие кажущиеся хаотичными частокорпусы, балки и лестницы. В этом пиранезийском пространстве люди встречаются в ресторанах, барах, отелях, магазинах, на платформах или пересекающихся горизонтальных, диагональных и вертикальных коммуникациях. Структурная

оболочка укутывает внутреннюю часть стадиона и одновременно становится орнаментом и связующим звеном между городом и ареной. Это автономное и одновременно городского значения сооружение заявило права на большее, чем только быть местом проведения олимпийских празднеств.

Геометрия цоколя сливается с геометрией стадиона, будто дерево с его корнями. Распростертая сеть плоскостей с дорожками, расположенными вокруг стадиона под острыми углами, принимает пешеходные потоки. Между дорожками находятся на пониженном уровне сады, камни, бамбуковые рощи, минеральные холмистые ландшафты и проемы, которые раскрывают жизнь нижних уровней стадиона. Так как территория мягко поднимается, образуя естественный цоколь, стал возможен повышенный уровень входа, с которого раскрывается панорамный вид на всю Олимпийскую деревню.

Эффект от восприятия пространства стадиона радикален, но одновременно прост, почти архаичен в своей непосредственности. Стадион выглядит как подлинная структура. Наружная оболочка и структура слились воедино. Отдельные элементы опираются друг на друга и связываются в единое пространственное решетчатое произведение, содержащее в себе фасад, лестницы, трибуны и крышу. Чтобы сделать крышу устойчивой к атмосферным воздействиям, промежутки сетчатой структуры заполнены светопропускающей мембраной. Так как все такие учреждения, как рестораны, служебные помещения, магазины и туалеты – это отдельные функциональные единицы, то здесь можно было отказаться от закрытого фасада, что одновременно позволило осуществить естественную вентиляцию стадиона – самого важного аспекта энергосберегающего дизайна.

Стадион задуман как большой коллективный сосуд, который как издалека, так и вблизи оставляет неповторимое впечатление. Равномерное, наподобие котла, оформление внутреннего пространства стадиона должно разжигать настроение масс и поощрять атлетов.

Чтобы достичь единого восприятия, трибуны зрителей организованы с минимальными пробелами, акустический потолок, скрывая несущую структуру, позволяет зрителям полностью сконцентрироваться на событиях на игровом поле. Человеческие массы – это часть архитектуры, и они тоже создают ее форму.

Уровень 0

- 1 VIP-вход
- 2 магазины, рестораны
- 3 входная группа отеля
- 4 зал разминки
- 5 подземный гараж
- 6 контроль на допинг
- 7 медицинский кабинет
- 8 техническое помещение
- 9 центр прессы
- 10 атлеты / пресса

Уровень 1 - кассы, лифты  
Уровень 2 - место прогулок с открытым доступом для публики  
Уровень 3 - гастрономия  
Уровень 4 - ложи  
Уровень 5-7 - место прогулок с открытым доступом для публики

Разрез края крыши • Масштаб 1:50

- 1 верхний пояс несущего каркаса крыши - стальной профиль  $\square$  1000/1000/20 мм
- 2 водосточный желоб - листовая сталь
- 3 защитный внешний слой – пленка ЭТФЭ 250мкм
- 4 натяжение пленки ЭТФЭ - стальной трос Ø 10 мм
- 5 раскос несущего каркаса крыши - стальной профиль  $\square$  600/600/20 мм
- 6 подвесная конструкция рамы для мембраны-ПТФЭ - стальная труба Ø 180 мм
- 7 рама мембраны-ПТФЭ - стальная труба Ø 160 мм
- 8 прожектор стадиона
- 9 обтянутый вертикальный край крыши: защита против просматривания снаружи, защита от атмосферных воздействий - стеклоткань с покрытием ПТФЭ, влагонепроницаемая
- 10 нижний пояс несущего каркаса крыши - стальной профиль  $\square$  800/800/20 мм
- 11 акустическая мембрана, защита против просматривания снаружи - стеклоткань, воздухопроницаемая, с покрытием ПТФЭ
- 12 устройство натяжения акустической мембраны - алюминиевая зажимная шина по средством стержней с резьбой М 10 мм прикреплена накладками к стальной трубе Ø 89 мм, крепление на болтах

Разрез • Вид • Масштаб 1:10

- 1 перила безопасности - стальной трос Ø 10 мм
- 2 несущая конструкция - сталь  $\square$  1200/1200 мм
- 3 водосточный желоб - листовая сталь
- 4 зажимная рейка - многослойный алюминиевый прессованный профиль 60 мм
- 5 пленка ЭТФЭ с растровой (точечной) печатью 250 мкм
- 6 двойная полоса ЭТФЭ, ширина 160 мм
- 7 натяжение пленки ЭТФЭ - стальной трос спиральной свивки Ø 10 мм
- 8 анкерное крепление натяжного троса, приварено к водосточному желобу
- 9 траверса - стальной профиль  $\square$  150/150 мм с канатным зажимом

### Несущая конструкция

Несущая конструкция на первый взгляд выглядит как хаотичная решетка. Но это впечатление вводит в заблуждение. Речь идет здесь о вращательной симметрии несущих стержневых рам, расположение которых следует регулярной геометрии. Основную несущую конструкцию крыши образуют 24 порталные рамы, которые тангенциально прилегают к несущей кольцевой балке, описывающей вырез крыши, на высоте 12 м. Второстепенные балки дополнительно делят крышу на нерегулярные участки и придают жесткость крыше (рис. А). Все поперечные сечения балок с габаритами 1,20 x 1,20 м находятся в одном уровне. Разные нагрузки воспринимаются благодаря использованию разных толщин листового металла. В основную несущую конструкцию интегрированы пологие раскосы, на которые опираются лестницы. В эту еще регулярную структуру введены второстепенные балки, положение которых ориентировано на некоторые технические аспекты, как например, необходимая ши-

рина эвакуационных выходов и высота проходов, и соответствует эстетическим точкам зрения. Нет ни одной только чисто декоративной балки, все балки необходимы с точки зрения конструкции. Построенная по такому принципу геометрия в совокупности кажется хаотичной, однако, это не так (рис. В). Вся стальная структура фасада и крыши выполнена на сварке как единая жестко заземленная система. Деформационных швов между отдельными частями стальной конструкции нет. Температурные колебания приводят к сжатию или растяжению всей структуры. Кроме того, стальная структура не касается бетонной чаши. Обе конструкции полностью независимы друг от друга, что гарантирует сейсмостойкость всего здания. В узлах примыканий, как например, в точках проколов бетонных перекрытий стальными опорами или в лестничных площадках, введены деформационные швы, которые в верхних этажах достигают ширины до 30 см. Чаша стадиона разделена на 6 сегментов. Потолки, стены, балки выполнены в монолитных железобетонных конструкциях, ступени трибун из сборных железобетонных элементов.

#### *Кровельное покрытие - пленка ЭТФЭ*

Цифру 8 многие китайцы считают счастливым числом. Поэтому летние Олимпийские Игры начинаются 8.8.2008 в 8 ч вечера. Церемонии открытия и закрытия Олимпиады, футбольный финальный матч, а также несколько соревнований по легкой атлетике произойдут в новом национальном стадионе в столице Китая Пекине. После Игр стадион будет предоставлен не только для спортивных соревнований, но и для массовых культурных мероприятий. Сократится количество зрительных мест с 91 000 до 80 000. Стадион, спроектированный Герцогом & де Меро, был назван «Птичьим гнездом» из-за его кажущейся нерегулярной и плетеной несущей структуры. Однако, форма крыши – это не свободно выбранная поверхность, а часть тора, и поэтому математически описываемая. Крыша симметрична относительно вертикальных плоскостей центральных осей стадиона. Стальная несущая конструкция также обладает осевой симметрией относительно вертикальной центральной оси стадиона (симметрия вокруг 180°, рис. А, В). И состоит из регулярных несущих рамных структур, наложенных друг на друга с поворотом. Тем не менее, человеческий глаз едва ли регистрирует системность геометрической структуры. Этот стилевой элемент, возникший благодаря комбинации разнообразных орнаментов, является частью китайского искусства и культуры. Здание, объемом примерно 3 млн. м<sup>3</sup> и в осях 330 м x 220 м x 69,2 м (над уровнем игрового поля), было своевременно построено до начала Олимпиады. Основная стальная конструкция весом ок. 45 000 т контрастирует с прозрачной и лег-

кой кровлей и ее наклонными участками в местах перелома, выполненных из ЭТФЭ-пленки, натянутой на стальных тросах, и заполняющей 880 пробелов между «ветками птичьего гнезда». Остальные поля служат выходами и заполнялись другими материалами. Натянутая стальными тросами ЭТФЭ-пленка (Asahi Fluon NJ 250 мкм) создает просвечивающиеся площади около 38 000 м<sup>2</sup>. В нескольких функциональных зонах использована пленка с растровой серебристо-серой печатью. Под ЭТФЭ-пленкой находится внутренняя мембрана из технической ткани, улучшающая акустику внутри стадиона. Так как заранее было трудно предусмотреть возможные изменения, возникающие в процессе монтажа металлоконструкций, производимого различными китайскими предприятиями, предприятие covertex, уполномоченное для производства и монтажа ЭТФЭ-пленки, еще на ранних этапах решило выполнять работы только после обмера фактической геометрии стальной конструкции. В итоге для каждого из 880 полей были сделаны трехмерные чертежи их геометрии. Симметрия не могла быть использована для сокращения количества раскроев пленки. Контур каждого участка пленки посредством зажимного профиля из алюминия (общая длина ок. 23,5 км) прикреплен к водоотводному стальному желобу. Дождевая вода отводится с поверхности пленки по желобам и далее собирается по каналам в комплексную водоотводную систему (см. стр. 776).

#### *Поддержка натяжными тросами*

Несущая способность ЭТФЭ-пленки ограничена, как ограничена и ее толщина при экструзии через широкие формующие щели. При обычных внешних воздействиях ветра и снега она допускает пролеты до 1,5 м. Поэтому мембраны из ЭТФЭ-пленки большего размера можно получить только, если они опираются на тросы или другие конструктивные элементы. В пекинском национальном стадионе максимальная площадь отдельных полей была достигнута 300 м<sup>2</sup>, в целом было применено 4690 тросов из нержавеющей стали общей длиной ок. 30 км (рис. С, G). Расстояние между тросами составило от 0,8 до 1,4 м при диаметре троса 10 мм. Практически параллельные друг другу тросы проходят через расположенные по внутренней стороне прозрачные карманы пленки. Карманы заканчиваются в нескольких сантиметрах от концов тросов, которые чуть ниже зажимов пленки крепятся вилкообразными клеммами и кронштейнами к водоотводным желобам. Для ограничения деформации мембраны, тросы подпираются ребрами жесткости, выполненными из пустотелых коробчатых профилей (рис. D, G). Максимальный пролет между этими ребрами и тросами составляет примерно 4 м. Первоначальный проект предусматривал выполнение конструкций покрытия с двой-

ной кривизной с помощью установок стальных дуг. Однако, в конечном счете, решились на более простое решение: в плоских местах крыши поверхность пленки была практически прямой, в местах перелома крыши осуществлен одноосевой изгиб (рис. Е, F). Через 40 недель монтаж покрытия был завершен.

*Механически и пневматически напряженные кровли стадионов из ЭТФЭ-пленки*  
Герцог & де Меро показали уже на примере мюнхенского стадиона Альянс-Арена (см. Detail 9/2005, стр. 950-980), что комбинация стали и ЭТФЭ-пленки дает возможность создавать необычные архитектурные структуры. Тогда они решились на пневматически напряженные надувные подушки из ЭТФЭ-пленки, которые привели к характерной структуре оболочки сооружения. При проектировании национального стадиона в Пекине было выбрано решение с механически напряженной ЭТФЭ-пленкой. Такое решение с однослойной мембраной хоть и экономит пленку, но значительно уступает по степени сложности конструктивному решению пневматической конструкции. Фирма covertex уже в 2004 году при строительстве прозрачного навеса площадью 10 000 м<sup>2</sup> над трибунами стадиона АВД-Арена в Ганновере применила похожую систему (арх.: Шулитц & партнеры).  
*Карстен Мориц*

#### **страница 780** **Стадион Letzigrund в Цюрихе**

Постройка нового стадиона Летцигрунд (Letzigrund) как никогда воодушевила на строения цюрихских фанатов футбола. Старое здание стадиона, открыв свои ворота еще в 1925 году, стало эмоциональным олицетворением периферийного квартала. Чтобы отвлечь сегодня болельщиков от телевизионного кресла, футбольные стадионы должны становиться комплекснее и интереснее. УЕФА для проведения международных и европейских чемпионатов выбирает в большинстве случаев территории с новыми стадионами. Австрия и Швейцария соревнуются в организации мест проведения соревнований чемпионата Европы 2008 года. Цюрих запланировал для этого постройку нового стадиона Хардтурм (Hardturm), финансируемого частным капиталом. Тем не менее, гражданские протесты задержали строительство так, что он не смог быть своевременным построен. Одновременно город решил на постройку стадиона Летцигрунд (Letzigrund), так как посчитали, что это рациональнее, чем санирование старого. Концепция финансируемого городом стадиона несла характер расширения зданий общегородского назначения: во время игр ЕВРО 2008 здесь могут состояться 40-50 игр Суперлиги, международные соревнования по легкой атлетике и 4 больших

концерта в год. Окончание строительства в срок стало нервной гонкой со временем. Кроме того, старый стадион должен был продолжать работу, при одновременном строительстве нового на том же самом месте. Новое строительство было начато со стороны западной трибуны, вне старого стадиона, это позволило осуществить одновременный снос старого стадиона. Игровое поле было опущено по образцу античных амфитеатров на несколько метров в землю и окружено трибунами. Этим была снижена высота наружных фасадов, что помогло сохранить привычный для квартала масштаб. Обегаящий периметр пандус открывает виды на город и выравнивает разные уровни стадиона. Чтобы подчеркнуть открытость, у стадиона нет ограничивающих его внутреннее пространство фасадов. Восемь входных зон вне мероприятий всегда остаются открытыми, поэтому граждане могут свободно использовать «свой стадион».

- 1 спортзал
- 2 беговая дорожка
- 3 прыжки в длину
- 4 склад
- 5 технические помещения
- 6 подземные гаражи
- 7 фундамент опор
- 8 тренажерный зал
- 9 офисы
- 10 раздевалка
- 11 фойе
- 12 входной пандус
- 13 персонал
- 14 кухня
- 15 менеджмент
- 16 ресторан
- 17 фойе при ложах
- 18 ложи

Вертикальные разрезы • Масштаб 1:50

- 1 трасса электрических кабелей
- 2 боковой (крайний) прогон – двутавр 700 мм, изогнут
- 3 прожектор - стальная труба  $\square$  630/630 мм
- 4 балка - стальной профиль I 1,1 ÷ 3,4 м
- 5 экстенсивное озеленение – растение седум / грунт 80 мм / накопительный мат - пенополистирол ППС 40 мм / антиэрозийный мат 8 мм / дренажное и защитное нетканое полотно / гидроизоляция кровельная с пригрузом – полиолефиновое полотно полистирол ЭПС 40 мм, экструдированный профнастил 111 мм, оцинкованный
- 6 стальная труба  $\square$  160/100 мм
- 7 балки 120/160 мм с балками 60/100 мм
- 8 обрешетка – дерево робинии 50/50 мм / нетканое полотно / обрешетка 60/80 мм, в промежутках акустическая плита - минвата 40 мм
- 9 видеоконтроль
- 10 громкоговоритель за ПТФЭ-тканью
- 11 гравий / гидроизоляция
- ДСП на цементном связующем 36 мм
- деревянные балки 120/240 мм
- 12 ревизионное отверстие - пластмасса
- 13 аварийный водослив
- 14 динамик в корпусе / трехслойная клееная древесная плита 19 мм
- 15 сжатая опора - железобетон в стальном предварительно оксидированном кожухе 15÷20 мм
- 16 тяговая опора - железобетон в стальном предварительно оксидированном кожухе 15÷20 мм
- 17 стержневая тяга со стальной проушиной
- 18 стальной профиль - двутавр 600 мм
- 19 доска объявлений – фанера с покрытием на основе фенольной смолы

- 20 ДСП на цементном связующем 8 мм / стальной профиль Omega
- гидроизоляция – полиолефиновое полотно
- 21 трехслойная клееная древесная плита 27 мм
- антенна

### Геометрия

Геометрическая структура стадиона Летциггунд (Letzigrund) должна была соответствовать не только функциональным требованиям и быть выполнена в эффективных конструкциях, но образовывать также элегантное единство всех своих частей. В результате получилась комплексная структура: прямоугольный конструктивный элемент гаража и зоны тренировок нижних этажей западной трибуны переходят в дугообразную и лучистую структуру трибун и далее заканчиваются кольцеобразной крышей со своей собственной геометрией. При этом трибуны следуют за эллиптическим ходом 400-метровой дорожки и отступают от нее лишь в двух местах. В западном фланге трибуны выше и глубже, чем на востоке, так как зрительские места здесь более привлекательны, а внизу размещены другие функциональные зоны. Уклон крыши следует расположению трибун. Крыша экстенсивно озеленена, оснащена солнечными батареями площадью 2500 м<sup>2</sup> и опирается на 32 консоли с парными опорами. Как опоры, так и расположенные на концах консолей прожекторы, должны иметь равномерный шаг. Одновременно, размещение парных опор соответствует расположению трибун и прожекторов по краю крыши. Это привело к тому, что размеры консольных частей опор не могли быть конгруэнтными с шириной кровли. По этой причине опоры были поставлены под углом и с разными уклонами. Таким образом, конструктивная необходимость привела к эстетическому результату - «танцующим опорам».

### Балки и опоры

Консольные балки обычно опираются на опору с оттяжкой. Для оптимального распределения усилий оттяжка должна размещаться по внешнему краю. В данном случае это было невозможно, так как зона зрителей должна оставаться свободной от препятствий. Поэтому 32 парные опоры расположили на самой верхней трибуне. Несмотря на конструктивно неблагоприятное расположение и далеко выступающую крышу, их можно назвать филигранными. Внутренняя опора, работающая на сжатие, несет нагрузку в 1900 т, одновременно, внешняя опора, работающая на изгиб, – в 1400 т. Из-за высокой нагрузки была выбрана железобетонная конструкция: бетонное ядро облицовано 15-20 мм предварительно-оксидированной сталью. На нее опирается консольная балка крыши: стальной профиль, достигающий общей длины до 43 м с длиной консоли до 32 м. Верхняя опорная плита колонны соединена с цилиндрическим оголовком, на нее

свободно, без дополнительных связей установлена стропильная рама. В случае изменения нагрузок 2 стержня с винтовой резьбой страхуют от смещений. Оголовок тяговой опоры выполнен как стержень с проушиной, нагрузки передаются здесь через болтовые шарниры.

### Натяжение опор

Опоры имеют 4-х метровое удлинение в форме стального профиля из пяти частей для заземления в находящихся внизу бетонных стенах. Эти стены, рассчитанные также на сейсмостойкость, примыкают к поперечной закругленной стене, на которую опирается наружный пандус. В точке их пересечения происходит объединение нагрузок: 200 дюбелей с проушинами для крепления тяговой опоры, 3 натяжных троса – каждый весом 235 т – для передачи нагрузок от крыши, 22 спиральных арматурных стержня для восприятия сейсмических нагрузок, предварительно напряженный трос весом 100 т для усиления пандуса, а также обвязка спиральными арматурными стержнями на случай деформации узла вследствие чрезмерных нагрузок. Изготовление такого узла может удаться, если все элементы расположены в их запланированных позициях и выполнены с соблюдением правильной технологической последовательности.

### Монтаж сплошных стропильных рам

Цилиндрические оголовки и стержни с проушинами показали себя эффективными как в отношении передачи усилий, так и при монтаже: кран устанавливал стропила на опоры и вставлялись соединительные болты. Для этого опоры весом 18 т должны были устанавливаться с максимальным допуском в 20 мм на смонтированные в заводских условиях балки весом приблизительно 52 т. Ряд контрольных обмеров гарантировал соблюдение допусков: точный обмер опор при установке, контрольные измерения до и после бетонирования и перед монтажом стропильных рам. Высокие затраты себя оправдали: максимальное отклонение опор составило 12 мм, все элементы рамы точно подошли по размеру, и на монтаж уходило лишь около получаса. Промежутки между стропильной рамой заполнены стальным фахверком, который несет металлическую кровлю и повышает устойчивость от опрокидывающих моментов и горизонтальных сил, а также сюда интегрирована водоотводная система. В каждом третьем секторе имеется деформационный шов с продольными твердостью в узловых соединениях, который воспринимает возникающие вследствие температурных колебаний растяжения до +/-40 мм. Самая большая нагрузка над опорами, поэтому высота балок в этих местах 3,4 м, по внутреннему краю она снижается до 1,1 м. На крыше они выступают как ребра, снизу они облицованы обрешеткой из древесины робинии.

### Облицовка крыши

Деревянная обрешетка укреплена таким образом на несущей конструкции, что ее деформации вследствие температурных колебаний не зависят от нее. Разделение этих слоев очень важно, так как воздействия холода зимой и солнечного облучения летом приводят к смещениям стропильных рам до нескольких сантиметров, а при сильном ветре обрешетка может быть даже поднята. Жесткая связь между стальной конструкцией и деревянной обрешеткой смогла бы привести к перелому планок или выходу из строя креплений. Деформации крыши от собственного веса, оборудования фотовольтаики, снега и ветра предварительно были точно рассчитаны, а результаты расчетов проверены в процессе строительства: расхождение величин составило немногие миллиметры. Причины заключались в измерениях, выполняющихся в разное время дня: во второй половине дня верхняя сторона крыши нагревается солнцем, вызывая распространение деформаций в направлении низа, ранним утром никаких отклонений в наличии нет. За деформациями крыши наблюдать будут также и в будущем для получения сведений о процессе старения конструкции.

- 1 сжатая ж/б опора в стальной кожухе 15÷20 мм
- 2 тяговая ж/б опора в стальном кожухе
- 3 стропильная рама - стальной двутавр I, максимальный консольный выступ 32 м
- 4 оголовок тяговой опоры, стержень с проушиной с шипом
- 5 крепление сжатых опор на анкерах:  
стальная опорная плита в ж/б ядре основания и арматурные стержни как удлинение кожуха
- 6 крепление тяговой опоры на анкерах: удлинение ж/б ядра 200-ми дюбелями с болтовыми головками
- 7 арматура для восприятия распорочных нагрузок
- 8 армирование с плитой оголовка для восприятия усилий растяжения

### страница 786 Крематорий в Какамигахара

Железобетон не обязательно ассоциируется с легкостью, но крыша крематория «Meiso no tori» – леса медитации – кажется, парит над ландшафтом. На задуманном наподобие парка кладбище Какамигахара (Kakamigahara) – города префектуры Гифу (Gifu), насчитывающего 150 тыс. жителей, между засаженными лесом холмами на юге и искусственным прудом на севере расположилось здание городского крематория. Снос предшествующего здания дал возможность архитектору Тойю Ито (Тоюо Ито) осуществить свое представление о зале прощания без религиозного содержания. Архитектор хотел создать тихое место для погружения в мир мыслей, которое своей органической формой подчеркивает тесную связь с природой. Тонкая крыша толщиной 20 см из вогнутых и выпуклых поверхностей плавно переходит в 12 кони-

чекис опор и дополнительно опирается на двухэтажное ядро. Между ними свободно расположились облицованные мрамором инвертированные кубические объемы помещений, в которых осуществляются ритуалы прощания и кремации. Форма крыши – это результат длительного сотрудничества с конструктором Мутсуо Сасаки (Mutsuro Sasaki). Вначале был выполнен интуитивный, основанный на опыте проект, пространственные координаты которого были дигитально зафиксированы, и сделан компьютерный расчет конструкции. Возникающие внутренние усилия должны были быть сокращены до минимума, а созданные уклоны быть достаточными для отвода воды внутри опор. Сотни последующих арифметических циклов смоделировали оптимальную форму крыши, которую ранее не предвидел ни архитектор, ни конструктор. На основе дигитальных данных были индустриально изготовлены сборные криволинейные элементы и опоры. Как для сооружений, выполненных с применением опалубки, были допустимы незначительные отклонения от расчетных координат, что, как и процесс бетонирования, стало неким показателем технического мастерства строителей: только точная работа с быстросхватывающимся бетоном могла гарантировать равномерную толщину крыши.

#### Планы • Масштаб 1:750

- 1 главный вход
- 2 вестибюль
- 3 зал прощания
- 4 управление
- 5 подготовка
- 6 крематорий
- 7 техническое помещение
- 8 помещение контроля
- 9 комната ожидания

#### Разрез • Масштаб 1:20

- 1 жидкая изоляция - полиуретан 3 мм  
выравнивающий слой - раствор 10 мм  
ж/б перекрытие 200 мм  
теплоизоляционный раствор 20 мм  
покрытие 3 мм
- 2 листовая сталь 5 мм, высококачественная
- 3 однослойное бесосколочное стекло 19 мм
- 4 внутренний водосток - стальная труба Ø 216 мм
- 5 мрамор 20 мм /раствор 10 мм /утеплитель 20мм  
утеплитель 100 мм / ж/б 200 мм  
подготовительный слой 80 мм
- 6 желоб конденсата
- 7 листовая сталь 165/12 мм
- 8 листовая сталь 165/9 мм

### страница 791 Терминал аэропорта в Пекине Хольгер Фалтер, Артур

Новый Терминал-3 аэропорта Пекина – это, длиной почти в 3 км, одно из самых больших зданий мира. С 2020 года здесь ожидается ежегодно до 50 млн. авиапассажиров. Несмотря на свои гигантские размеры, ясно члененный симметричный план обеспечивает хорошую ориентацию. По обоим концам здания линейная структура

сооружения расширяется до образования больших залов: на юге – Терминал ТЗ А для национальных авиалиний, на севере – ТЗ В для международных авиалиний. Изогнутая форма подчеркнута ясно вычерченными скатами крыши двойной кривизны. Общая площадь охватывает 350 000 м<sup>2</sup>, интегрированные фонари верхнего света обеспечивают естественное освещение помещений. Несущая конструкция крыши – это стальная перекрестно-стержневая пространственная структура, опирающаяся на стальные опоры высотой до 30 м. Потолок состоит из тонких алюминиевых ламелей, которые дают возможность увидеть несущую конструкцию, придающую тонким линейным пространствам легкость и дополнительную динамику. Открытые, перетекающие, со ступенчатыми уровнями и галереями пространства открывают взгляду далекие перспективы. Окраска опор, потолков и несущих конструкций фасадов изменяется от красного цвета в терминале ТЗ А, который является одновременно главным входом в аэропорт, до желтого цвета в ТЗ В. Стальная конструкция крыши опирается на железобетонные перекрытия. Горизонтальные и вертикальные нагрузки переносятся на железобетонные перекрытия, балки и колонны круглого сечения с шагом осей 12 м. Так созданная многоэтажная рамная конструкция гарантирует для сейсмического региона Пекина необходимую эластичность, в отличие от более жестких массивных построек со стенами-ребрами жесткости. Несущая конструкция крыши стабилизируется крупными стальными предварительно напряженными опорами, установленными непосредственно под ними находящиеся балки и железобетонные колонны. С конструктивной точки зрения это дает возможность реализовать относительно неограниченные формы крыши и позволяет выполнить весь объем крыши без деформационных швов. Уже первые исследования поставили вопрос о правильности выбора конструкции с множеством различных элементов, выполняемых в тесных временных рамках, и пространственной перекрестно-стержневой структуры с болтовыми соединениями. Функции помещений, необходимые высоты внутреннего пространства и ограничение высоты крыши до 45 м определили форму крыши во многих зонах. Была разработана диагональная сетка опор крыши с шагом 36 м. Модульная сетка пространственной структуры имеет шаг 4,5 м. В целом имеется более 18 000 связующих узлов и почти 70 000 пустотных стальных профилей. Обусловленные волнообразной формой крыши все элементы крыши разные. Чтобы оптимизировать вес стальных элементов, рассчитывались индивидуальные размеры всех стержней. На основе множества элементов и связей была разработана модульная система, которая основывалась на изготовлении в заводских условиях и

быстром монтаже на стройплощадке. Симметрия здания не отражается в пространственной структуре, так как по решению архитекторов несимметричная ориентация фонарей верхнего света препятствует зеркальной симметрии. Некоторые стержни нижней сетки были опущены, чтобы превратить их тригонометрическую геометрию в шестиугольники (гексагоны). Для узлов нижней сетки была использована система Мего, которая после истечения срока действия патента была внесена в китайские нормы. К стальному полю шару крепятся до 8 стержней. Верхний узел был запроектирован как «Bowl node», как полукруг с цилиндрической верхней частью, к которой присоединяются квадратные и прямоугольные пустотные профили для непосредственного крепления к ним кровельного профнастила (см. рис. стр. xx, xx). Однако заказчик решил изменить эту деталь. «Bowl node» заменили круглыми узлами, что сделало невозможным непосредственную укладку стального настила и потребовало второго несущего слоя. Вместо запроектированных болтовых соединений все связи были выполнены на сварке, так как качество местной стали не гарантировало бы необходимую несущую способность болтовых соединений. Это потребовало полной оснастки крыши в течение монтажа, что существенно повлияло на производство строительных работ и переместило основные усилия от предварительного изготовления к тяжелым работам на стройплощадке. Этот пример показывает, как проектные предложения по-разному оцениваются в разных культурах.

- 1 проверка паспортов, визы
- 2 VIP-ложи
- 3 зал вылета
- 4 зал ожидания
- 5 контроль безопасности
- 6 станция городской электрички
- 7 выдача багажа
- 8 технические помещения
- 9 связь между Терминалом-3 А и В
- 10 проезд
- 11 вылет национальных авиалиний

Разрез • Масштаб 1:50

- 1 алюминиевая панель с утеплением 60 мм
- 2 балка – стальной профиль I 160 мм
- 3 многослойное безосколочное стекло 58 мм
- 4 стальной профиль D 175 мм
- 5 многослойное безосколочное стекло
- 6 конструкция кровли:  
кровля - листовой алюминий с вертикальными фальцами 1,5 мм / утеплитель 200 мм  
пароизоляция  
звукоизоляция 150 мм  
стальной профнастил 150 мм, перфорированный
- 7 водосточная желоб – панель из нержавеющей стали 250 мм
- 8 верхний узел пространственной перекрестно-стержневой структуры - сталь
- 9 стальная труба Ø 300 мм
- 10 алюминиевая ламель с 150/25/1 мм, покрытие белого цвета, на раме - стальной профиль D 160 мм

Перспектива несущей конструкции крыши и подвешенного потолка • Разрез фасада • Масштаб 1:100

- 1 конструкция кровли см. стр. 794

- 2 стальной профиль D 250 мм
- 3 примыкание крыши к фасаду, рассчитано на смещение
- 4 стальная опора Ø 640÷1130 мм с внутренним водостоком
- 5 наклонная опора фасада - стал. труба Ø 200 мм
- 6 вертикальный профиль f  
горизонтальный ригель - стальной профиль с 140/200 мм
- 7 стеклопакет: многослойное безосколочное стекло 2 x 10 мм + промежуток 16 мм + однослойное безосколочное стекло 15 мм, солнцезащитное покрытие Low-E
- 8 зафиксированная солнцезащитная ламель – алюминий с покрытием
- 9 крепление опоры на междуэтажном перекрытии
- 10 алюминий 3 мм, сэндвич-панель 100 мм
- 12 конец опоры забетонирован с манжетом на болтах
- 13 уровень летного поля

## страница 798

### Станция «Southern Cross» в Мельбурне

По-новому оформленная станция «Southern Cross» в Мельбурне (Австралия) должна была стать главным городским вокзалом, построенным по-европейскому образцу. Одними из задач образовавшейся площади были объединение городского центра с зоной доков и образование защищенных навесом пешеходных связей. рапечиевидная структура крыши, перекрывающая весь объем застроенного квартала площадью 216 x 180 м, имеет сложнейшую комплексную геометрию, без симметричных или повторяющихся элементов. Благодаря автоматизированному производству изготовления элементов разного сечения стало возможным без больших издержек. Подобная дюнам крыша была разработана с помощью аэродинамических исследований, чтобы обеспечить естественную вентиляцию помещения. Благодаря условиям воздухообмена под волнообразной кровлей выхлопные газы тепловозов поднимаются и удаляются через вентиляционные отверстия, расположенные на самых высоких отметках. Поверх ската крыши возникают восходящие воздушные потоки, которые гарантируют вывод отработанного воздуха круглый год. На каждой второй платформе установлены пустотелые стальные опоры в форме Y высотой от 6 до 16 м. Они несут волнообразную перекрестно-стержневую конструкцию кровли с пролетами 40 м в направлении железнодорожных путей, пролеты между которыми заполнены лентами верхнего света почти 6-метровой ширины из прозрачных подушек, выполненных из ЭТФЭ-пленки. Округлость форм верхней и нижней сеток пространственной структуры контрастирует с призматическим остро нарезанным покрытием заполнения. Свободно расставленные в зале ожидания кубы с прилегающими помещениями формируют пешеходные проходы и открывают вид на железнодорожные перроны.

План верхнего этажа • Разрезы • Масштаб 1:2000

- 1 зона входов
- 2 ж/д кассы
- 3 пешеходный мост
- 4 магазины
- 5 управление
- 6 магазины/бюро

Генплан • Масштаб 1:20 000

- 7 главный вход
- 8 пешеходный мост

Опора Y • Верхний свет – ЭТФЭ-пленка • Вентиляционное отверстие • Масштаб 1:50

- 1 кровельный настил – алюминиевый лист, соединение на вертикальных фальцах
- 2 стальная труба Ø 120 мм
- 3 водоотвод воды
- 4 верхний свет - подушка из ЭТФЭ-пленки
- 5 пространственная перекрестно-стержневая структура – стальная труба Ø 355 мм с изгибом
- 6 опора - стальная труба Ø 180÷120 мм
- 7 воздушная электролиния
- 8 светильник направленного света
- 9 пространственная перекрестно-стержневая структура - стал. труба Ø 3600 мм и 1600 мм
- 10 стальная труба Ø 170 мм
- 11 потолочная панель - алюминий
- 12 защита от дождя вентиляционного отверстия - алюминий, перфорированный, открываемость на 55%

## страница 802

### Зал конькобежного спорта в Санкт-Петербурге

Динамично поднимающийся силуэт здания ледового зала отвечает высотам старого зала государственной спортивной школы и на севере поднимается до максимальной отметки. За гладкой алюминиевой обложкой скрываются помещения для бега на коньках (школа и трибуны), хоккейной тренировки, а также для соревнований и фигурного катания. Две разные по высоте части здания, как скобы охватывают стадион с востока и юга. Наклонный мост, связывающий зону низких гардеробов с более высоким трактом инфраструктуры, образует выступающий навес над остекленным входом. Отсюда попадают в зону фойе с гардеробами для публики, кафе и магазинами товаров для поклонников ледового спорта. Во фланкирующих боковых частях здания находятся гардеробы для игроков и технические помещения, над ними – трибуны и VIP-ложи. Для ледовых залов длиной более 30 x 60 м игровой регламент требовал высоту в свету 7 м. Конструкция крыши также должна была соответствовать особым требованиям, и ее опоры не должны мешать просмотру соревнований на трибунах. 12 несимметричных линзообразных рам из клееного дерева опираются на железобетонные опоры. Необычная геометрия рам родилась из идеи проекта, «грудной клетки», которая расширяется в центре. Стены и крыша выполнены в деревянных каркасных конструкциях, включение составляют сервисные тракты, выполненные в железобетоне. Низкие температуры в ледовом зале круглогодичного использования, смежные теплые зоны гардеробов и влажность ледяной поверхности

привели к высоким требованиям к техническому оборудованию и необходимости частичной двусторонней пароизоляции. Лен-точное остекление и стеклянные витражи были размещены так, чтобы на ледовую поверхность ни в коем случае не попал прямой солнечный свет, однако были освещены естественным светом необходимые зоны зала. Ночью светлые, светящиеся плоскости окон помогают ориентации и подчеркивают спортивную динамику сооружения.

- 1 штрафная скамья/скамья жюри
- 2 вход
- 3 гардероб
- 4 душ
- 5 технические помещения
- 6 скамья игроков
- 7 сушилка
- 8 офис
- 9 магазин
- 10 фойе
- 11 завхоз
- 12 комната персонала
- 13 машина для выравнивания льда
- 14 помещение холодильных установок
- 15 трибуна
- 16 двойной свет
- 17 VIP-ложа
- 18 отопление
- 19 вентиляция / горячая вода
- 20 информационное игровое табло

- 1 гидроизоляция – поливинилхлорид, армированный тканью из полиэстера  
плита ОСП 18 мм, паронепроницаемая балка - клееная древесина 80/260 мм, сосна  
утеплитель 240 мм  
пароизоляция - ПЭ 0,2 мм  
обрешетка / нетканое полотно 30 мм  
акустическая плита 25 мм, на деревоволокнистом связующем
- 2 композитная плита: алюминий - полиэтилен ПЭ  
- плита, полиуретановое покрытие 4 мм  
вентилируемая алюминиевая конструкция 60 мм  
изоляция против ветра – проклейка полиакрилом  
плита ОСП 15 мм, заклеенные швы  
клееная древесина 100/180 мм, сосна, в промежутках утеплитель - минвата 180 мм  
пароизоляция - полиэтиленовая пленка ПЭ, склеенные стыки  
опалубка из досок без шпунтов/фальцов 22 мм  
ДСП на цементном связующем 8 мм
- 3 балка-ферма – трехслойная плита из клееной древесины 2 x 240/1100 мм
- 4 ступень - сборный ж/б 120 мм  
утеплитель – полистирол на цементном связующем 100 мм, крепление на дюбелях  
пароизоляция – эпоксидная смола в 3 слоя, покрытие лаком, серый цвет под бетон  
керамическая плитка 8 мм, клей  
жидкая гидроизоляция, армированная  
стяжка с отоплением 70 мм  
пароизоляция – пленка ПЭ 0,2 мм  
утеплитель – минеральная засыпка, на связующем 80 мм  
пароизоляция – пленка-ПЭ, сплошная склейка  
щебень 90 мм  
железобетон 350 мм
- 7 каучук 9 мм, клей на эпоксидной основе
- 8 каучук-резина-гранулят 20 мм  
дренажный асфальт 60 мм  
лицевой слой – стяжка 50-60 мм  
защитный слой от замерзания - щебень
- 9 бортик: поликарбонат 4 мм, ПЭ 15 мм  
листовая сталь, оцинкованная  
облицовка - белый стекловолоконный полимер  
СВП 10 мм
- 10 лед 40 мм

- искусственный газон 12 мм, посыпка песком  
мат-абсорбер – полимер на эпоксидном связующем с посыпкой кварцевым песком  
разделительный слой – нетканое полотно  
лицевой слой – стяжка 50 мм  
гравий / щебеночный слой 150 мм  
утеплитель 200 мм  
гравий / щебеночный слой 400 мм  
нетканое полотно  
лицевой слой – стяжка, уплотненная  
11 сбалансированная опора, не смещаемая в стороны, страховка против поднятия  
узловая фасонка со шлицами  
нижняя часть по месту установлена в ж/б на сварке к закладной пластине  
огнезащитная окраска
- 12 ж/б опора 1000/500 мм
  - 13 работающие на растяжение балки, соединенные внахлестку Т-профиль/двутавр 300/2 мм  
железобетон 150-160 мм, заглаженный  
разделительный слой - пленка ПЭ
  - 14

Аксонометрия несущей конструкции  
Стропильная ферма с 3-осевыми опорами  
Масштаб 1:400

- 1 производственный шов стропильной балки
- 2 шов для предупреждения повреждений стропильной фермы при перевозках
- 3 растянутая / сжатая стойка фермы, стальная труба
- 4 соединительный стержень с резьбой
- 5 шарнирная опора ферм
- 6 заземление опор

## страница 810

### Особые требования к залу конькобежного спорта в Санкт-Пёльтене

*Бернд Леопольд, Томас Бергл, Бернд Эгерт, Вольфганг Энгел*

#### *Учиться на опыте бассейна в Бад-Райхенхалле*

При рассмотрении постройки зала конькобежного спорта напрашивается сравнение с обрушившимся в 2006 году залом в городе Бад-Райхенхалле, на юге Германии. Штефан Винтер (профессор тех. университета Мюнхена) в своих исследованиях причиносно несчастного случая указывает, что нельзя сравнивать по сегодняшним стандартам деревянную клееную конструкцию с простой деревянной конструкцией в Бад-Райхенхалле. Стечение таких разных факторов, как выбор принципиально неподходящей несущей конструкции, отсутствие проверочного расчета конструкций, сочетание монтажных ошибок и нарушения при эксплуатации привели к падению конструкции крыши. Вопреки этим отягчающим недостаткам, на удивление здание простояло более 30 лет. В постройке ледовой арены в Санкт-Пёльтене были применены, согласно нормам EN 386, основные несущие балки из клееной древесины недрогой сосны. Определение размеров происходило по классу использования №3, т.е. при уменьшении допустимых напряжений на 15%, чтобы гарантировать надежность при колебаниях окружающей влажности и влажности самого конструктивного элемента. Температура помещения, влажность воздуха и температура льда должны были быть оптимально согласованы друг с другом, поэтому функциональное техниче-

ское оборудование здания здесь особенно важно. Исполнительная фирма уже на фазе тендера выполняла консультации относительно технологии деревянной постройки для архитекторов. В многочисленных беседах инженеры и архитекторы совместно развили компромиссное решение, которое отвечало идее свободной формы и производственно-техническим, экономическим, а также конструктивным ограничениям несущей конструкции и всего покрова здания.

#### *Большепролетные конструкции*

Формообразующим элементом пространства зала является трехмерно изогнутая оболочка крыши. Из-за комплексности структуры гиперболических частей покрытия геометрическая форма их упрощалась до тех пор, пока последние две оси не описали кривую второй кривизны. Остальные плоскости имеют изогнутые поверхности первичной кривизны и разделены на 2 участка с противоположными уклонами. Главная несущая конструкция – это объемная система параллельно расположенных стропильных ферм, в которой, благодаря смещению опорных точек к центру выигрывается 4 - 5 м между осями колонн и при максимальном пролете 38 м достигается шаг в 6,25 м. Большепролетные фермы с двух сторон шарнирно опираются на предварительно напряженные железобетонные колонны. С восточной стороны они примыкают к трибуне, которая воспринимает конструктивные нагрузки и сокращает длину изгиба. Благодаря своему наклону и связям с фермами, опоры, выполненные как сборные элементы, одновременно запроектированы как поперечные элементы жесткости зала. Распор изогнутых верхних и нижних поясов усиливает несущую способность ферм в целом. Подпружинные арки из клееной древесины сформированы жесткими на изгиб, и сжатые и растянутые стойки из стальных труб обеспечивают жесткость конструкции. С затихающими напряжениями при изгибе в областях опорных узлов конец фермы упрощается до простого прямоугольного сечения. Оболочка крыши из сборных элементов работает как второстепенная несущая конструкция. Элементы состоят из плит ОСП, стропил и теплоизоляции, уложенной между ними. Кровля выполнена из полимерных полотен, армированных тканью полиэстера, и уложенных на гидроизоляционный и ветрозащитный слой. С внутренней стороны влагоустойчивые перфорированные плиты регулируют акустику.

#### *Изготовление*

Размеры балок варьируются, опираясь на идею архитекторов создания «грудной клетки», которая расширяется в середине и сужается к краям. Чтобы облегчить транспорт длинных балок, они были разделены вертикально и смонтированы по ме-

сту на стройплощадке. Стыки верхнего и нижнего пояса по эстетическим соображениям были смещены относительно друг друга. По техническим причинам потребовался также горизонтальный стык, который был осуществлен еще на производстве. Необходимая точность во фрезеровании и склейке была достигнута благодаря использованию автоматизированного робота (CNC-Roboter). Стержни с резьбой в зоне концов отверстия фермы предохраняют от поперечных растягивающих усилий. Так как одновременно варьируется не только ширина пролетов, но и наклон крыши, то возникающий сложный контур стен можно было представить только посредством комплексного трехмерного проектирования. Стены обшивались только по месту: внутри – древесноволокнистыми плитами на цементном связующем, снаружи – композитной облицовкой из алюминия - ПЭ. Для проектирования такой сложной по геометрии конструкции, при высокой степени индустриального изготовления сборных элементов, в сумме потребовалось почти 1 чел/год проектных работ. Только около 250 разных стальных элементов должны были быть обработаны на фрезеровальном CNC-станке и смонтированы.

#### *Влажность*

Так как ледовая арена находится в эксплуатации практически весь год (август-май), то соотношение теплого и холодного воздуха диаметрально меняется: зимой – наружная температура ниже, чем внутренняя, а летом – воздух холоднее внутри, чем снаружи. Чтобы избежать какого-либо увлажнения теплоизоляции, стропильная ферма должна была получить с двух сторон теплоизоляцию с высококачественной и качественно уложенной пароизоляцией. Также в относительно теплых гардеробах, которые под трибуну примыкают к холодному залу, были выполнены внутренние тепло- и пароизоляция.

#### *Прочность на удар*

Спортивный зал используется для бега на коньках, для фигурного катания и хоккея. Поэтому в любое время может случиться, что шайба ударится, к примеру, в облицовку, поэтому для поверхностей стен были выбраны жесткие плиты на цементном связующем. Нижняя часть стен в зоне между гардеробами и катком может подвергаться сильным ударам коньками или клюшками. Архитекторы решили здесь использовать стены из лицевого бетона с внутренней теплоизоляцией, так как легкий бетон не удовлетворял конструктивным требованиям. В гардеробах конькобежцы могут клюшками повредить все конструктивные элементы, поэтому поверхности здесь должны быть ударопрочными. Монтаж подвесного ГК-потолка означал бы большое количество повреждений функционально необходимого параизоляционного слоя, поэтому вме-

сто него на утеплитель была нанесена жидкая гидроизоляция.

#### *Производство льда*

Производство холода, удовлетворяющее экологическим требованиям, с использованием тепловыделений среды посредством абсорбционной холодильной машины АБХМ в этом случае было невозможным, так как окружение спортивной территории не располагало достаточным количеством отходящего тепла. Поэтому необходимый холод производится электрическим компрессионным холодильником. Для достижения низкой энергоемкости был применен хладагент аммиак. У аммиака есть преимущество, что он не разрушает озоновый слой. Но, однако, он горюч и едок, поэтому на случай безопасности применена закрытая система с незначительной емкостью. Как второстепенный энергоноситель служит водный раствор гликоля. Основная энергосистема оснащена жидкостными конденсаторами для регенерации тепла, так что почти 100% отходящего тепла от холодильных машин используется далее в приготовлении горячей воды для душей, обновления льда и вентиляционных установок.

#### *Вентиляция, осушение, отопление*

В залах конькобежного спорта опасность образования конденсата и тумана особенно высока, так как относительно сухой поступающий воздух охлаждается на поверхности льда и впитывает влагу. Чтобы избежать тумана, влажность воздуха, температура и распределение поступающего воздуха должны быть согласованы друг с другом. Оптимальных внутренних условий можно достичь только с помощью механического оборудования осушения помещения. Кроме того, эти устройства заботятся о том, чтобы конструкция крыши не была постоянно подвержена влажному воздуху. Деревянные стропильные фермы воспринимают часть оседающего конденсата, это позволяет избежать неровностей ледяной поверхности, возникающих от капающего конденсата. Индукционная вентиляция с системой распределения по потолкам и направленными в вниз выпусками допускает трубы небольшого сечения, сохраняя при этом относительно небольшие размеры оборудования. Выводы воздуха с двойной ступенью индукции сокращают подготовленную воздушную массу на половину, так что энергозатраты остаются на низком уровне. Высокая турбулентность воздушного потока предотвращает влияние воздушной струи на поверхность льда. Дополнительно к стандартной системе использования регенеративного тепла еще одно устройство повышает степень теплоутилизации и одновременно выполняет функцию осушки. Объемы необходимого тепла для кондиционирования помещения и для эксплуатации вентиляционного оборудования покрывает использование отхо-

дящего тепла от производства льда и от существующей теплотрассы. Обогрев помещений осуществляется посредством низкотемпературной системы – панельным отоплением полов, централизованной вентиляцией и потолочными лучистыми обогревателями в зоне нахождения публики.

#### *Основание, фундамент*

Так как арена находится в районе возможного наводнения с высоким уровнем грунтовых вод, то, прежде всего, от вспучивания должна быть защищена теплоизоляция в зоне ледовой поверхности за счет увеличения веса. Кроме того, от напора воды должно защитить водо- и морозостойчивое основание. Благодаря использованию толстого теплоизоляционного слоя в 20 см смогли отказаться от дополнительного отопления основания, а так же все узловые соединения в зоне фундамента для борта ледяной арены проектировались с особым вниманием к гидро- и морозостойчивости. Белое искусственное покрытие с вплетенными линиями для проведения соревнований можно многофункционально использовать и в летние месяцы, когда нет льда.

#### *Освещение*

Заказчик пожелал иметь зал без фонарей верхнего света. Но для турниров и передвижения публики естественный свет был, однако, желателен. Поэтому перед архитектором была поставлена задача, как можно больше осветить зал дневным светом, но без прямого попадания его на лед и без ослепления игроков. Эти условия должны были быть гарантированными весь день и целый год. Компьютерные симуляции уже на фазе проекта помогли установить, какие зоны фасадов никогда не освещаются прямым солнечным светом, или в каких местах свет, в случае нахождения там остекления, попадает на поверхность льда. Эти зоны получились в нижней части западного фасада, где были установлены окна ленточного типа, и на северной стороне, где можно было остеклить крупные плоскости фасада. Искусственная освещенность запрограммирована по нормам проведения соревнований. Высокоэффективные светильники для крупногабаритных залов с зеркальными рефлекторами и галогенными газоразрядными лампами высокого давления, расположенные между фермами, выполняют эти нормы.

- A аксонометрия креплений жесткости уровень крыши
- B фермы в осях 7, 11, 13 / шаг 6,25 м изменения формы вследствие постоянных и снеговых нагрузок, 10-кратное превышение
- C диаграмма системы вентиляции / разрез, план
- D диаграмма температурных зон / план
- E функциональная схема / программа помещений план 1-го и 2-го этажей
- F диаграмма технического оборудования производство льда, горячая вода