



**НИЦ строительство**  
научно-исследовательский центр



**ЦНИИСК**  
ИМ. В.А. КУЧЕРЕНКО

# ДОКЛАД

«Успешные практики применения металлических конструкций в России»

**д.т.н., проф. Ведякова И.И.**



**Стальные конструкции** по сравнению с конструкциями из других материалов **отличаются:**

- Высокой прочностью и надежностью при сравнительной весовой легкости несущих систем;
- Индустриальностью и высокой скоростью изготовления и монтажа;
- Простотой ремонта и реконструкции;
- Большой свободой в выборе формы конструктивных систем;
- Большим числом вариантов геометрии и типов узловых сопряжений;
- Высокой долей полезного объема зданий по отношению к общему строительному объему;
- Высокой рациональностью использования материала конструкций.

В прошедшие и будущие годы на территории России проведен и запланирован целый ряд крупных экономических и спортивных мероприятий мирового уровня, что позволило **ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко** **принять участие в строительстве значительного числа успешно реализованных зданий и сооружений со стальным каркасом** начиная от гостиничных и представительских корпусов, возведенных в условиях сейсмики на острове Русский (саммит АТЭС 2012), и заканчивая крупнейшими спортивными аренами страны. Кроме того, большую долю от общего объема наших объектов со стальным каркасом в период двух последних десятилетий занимают крупные торгово-развлекательные центры и офисные здания.



# ПРИМЕРЫ

построенных и строящихся  
большепролетных спортивных  
сооружений с участием

**ЦНИИСК им. В.А Кучеренко**

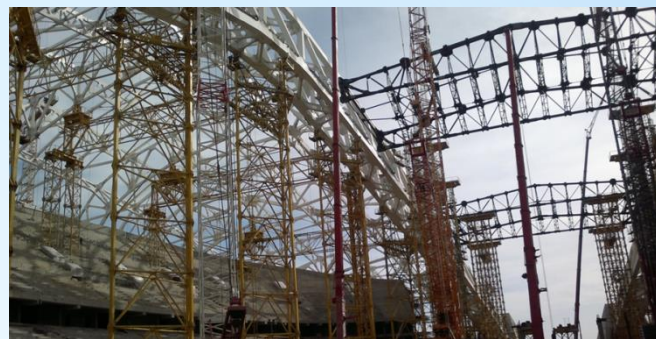
# ЦЕНТРАЛЬНЫЙ СТАДИОН “ФИШТ”

в Сочи на 50 тыс. мест.

Сооружение овальное в плане (285,0x240,0 м).

Основные элементы конструкции (сварные двутавры)

- две главные решетчатые арки пролетом 285 м и высотой 70 м. Перпендикулярно главным аркам, расположены второстепенные полуарки из плоских криволинейных ферм пролетом  $18.0 \div 71.0$  м.



## «КАЗАНЬ АРЕНА»

– на 45 тыс. зрителей. Форма плана - круг диаметром 250 м. Несущие металлические конструкции (трубы) состоят из опорного контура и консольных ферм. Контур выполнен в виде пространственной замкнутой трехпоясной фермы, опертой на восемь железобетонных пилонов в углах стадиона. На главный контур, опираются консольные фермы.







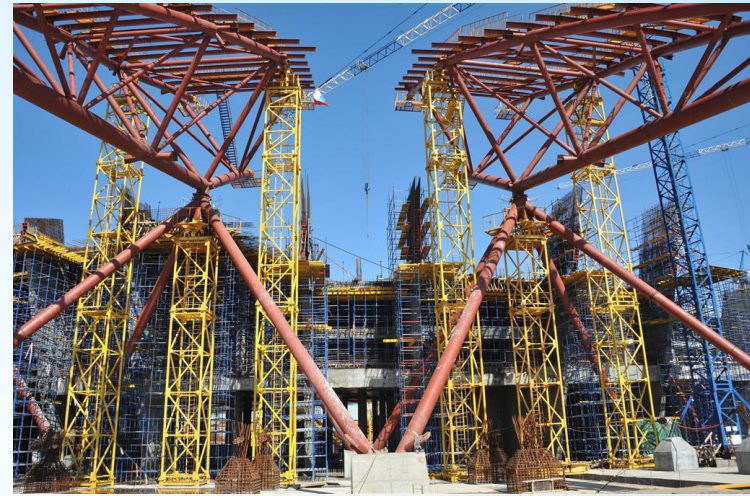
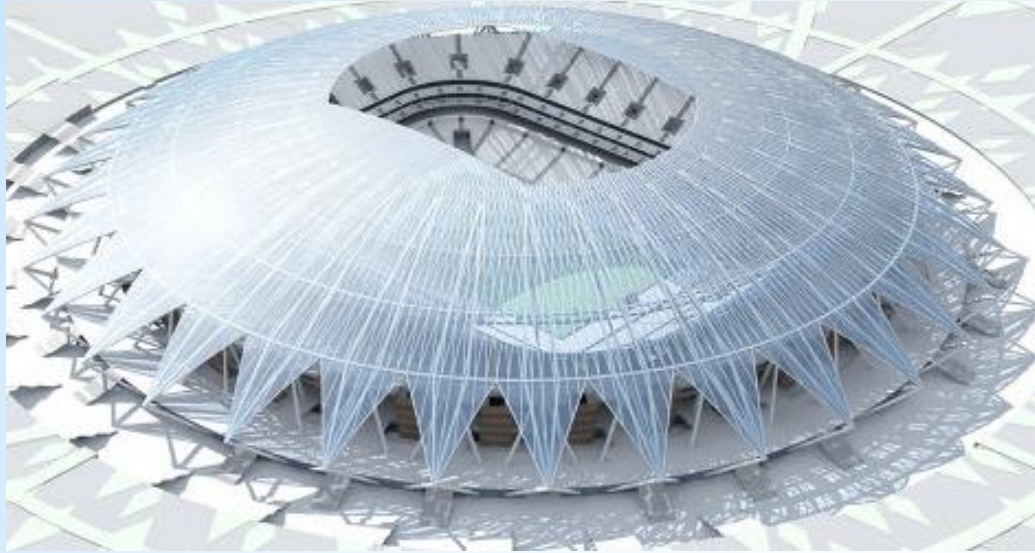
## **«САМАРА АРЕНА»** на 45 тыс. зрителей

Купол на круглом плане радиусом 300,0 м, высота 60,0 м с вырезом в центре.

Основные несущие элементы — 32 радиальные консоли (трехпоясные решетчатые фермы из круглых труб).

Высота радиальных ферм вылетом 91.2 м переменная с максимальным размером на опоре 10.2 м. Радиальные элементы объединены в пространственную систему кольцевыми фермами и связями.







# «РОСТОВ АРЕНА» на 45 тыс. зрителей

План - овал размерами - 257,2x218.5,0 м.

Основные несущие конструкции – система из 46 радиальных консольных сварных балок, объединенных кольцевыми прогонами и связями.

Консольные балки вылетом 51.34 м крепятся двумя наклонными вантовыми подвесками к верху пилонов, расположенных по периметру стадиона. К верху пилонов подходят оттяжки, замыкающиеся на железобетонные ростверки.

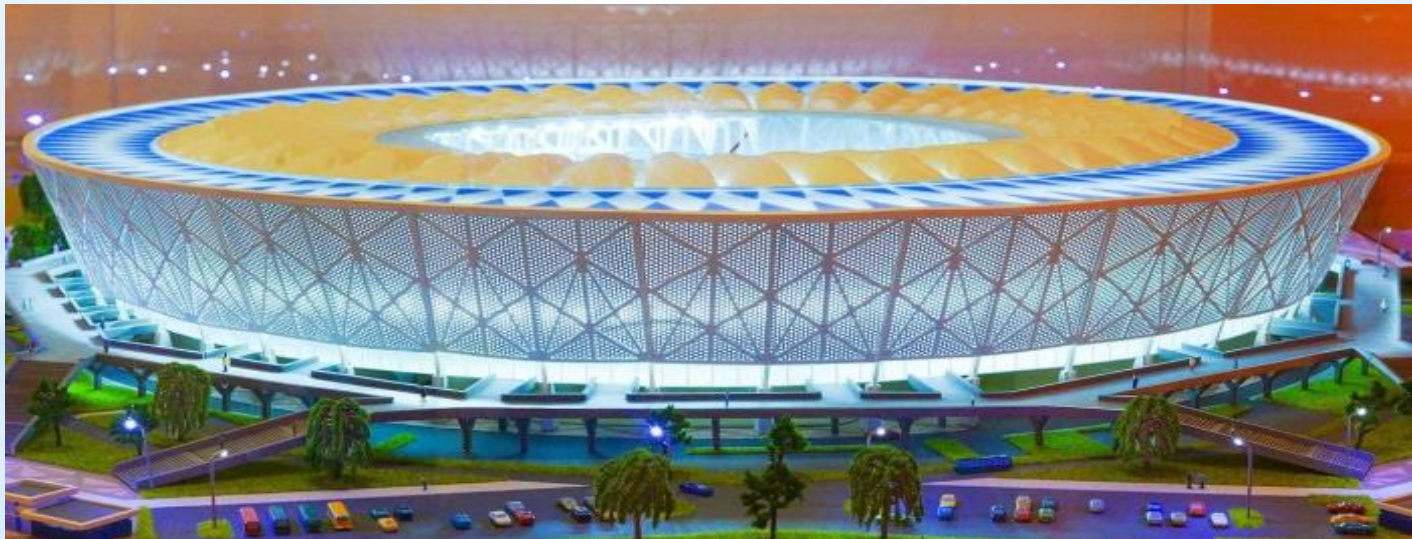






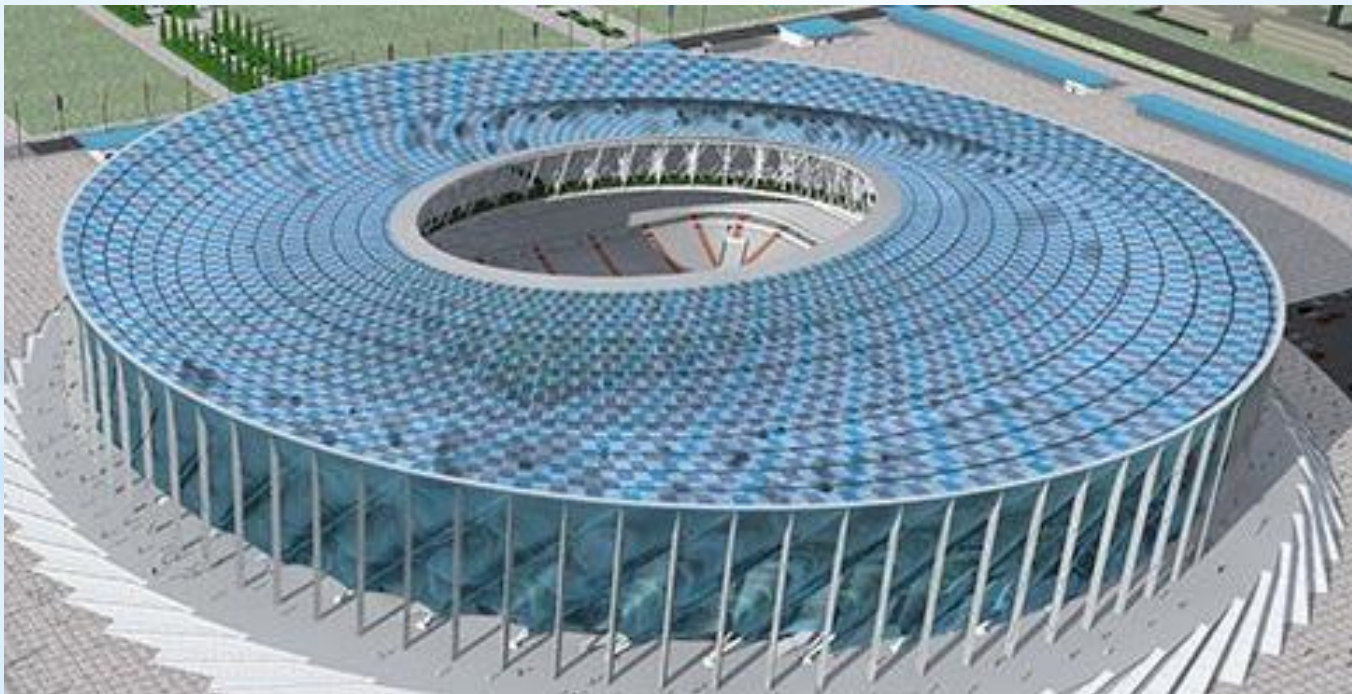
## **«ВОЛГОГРАД АРЕНА»** на 45 тыс. зрителей

План сооружения круг диаметром 303 м, высота - 49,5 м. Покрытие над трибунами стадиона (240,3x201,8 м) - система типа «велосипедного колеса» с одним сжатым наружным контуром и двумя растянутыми внутренними контурами, связанными системой из 44 радиальных вантовых ферм. Покрытие над зоной фойе имеет кольцевую форму с переменным пролетом.





**«СТАДИОН НИЖНИЙ НОВГОРОД»** на 45 тыс. зрителей. Покрытие стадиона над трибунами (243,8x206,7 м) радиально-кольцевая оболочка. Основные несущие элементы сварные двутавры – 44 радиальные решетчатые консоли, объединенные кольцевыми фермами и связями.



**«МОРДОВИЯ АРЕНА»** на 45 тыс. зрителей.

Покрытие стадиона над трибунами (228.3x209.6 м) купол на овальном плане.

Основные несущие элементы - 88 консолей вылетом 49 м, в виде криволинейных решетчатых ферм, объединенных кольцевыми фермами, распорками и связями по верхним и нижним поясам ферм. Конструкции выполнены из стальных труб с безфасоночными узлами сопряжения.





## **«СТАДИОН КАЛИНИНГРАД»** на 35 000 мест.

Сооружение в плане имеет форму прямоугольника с закругленными углами (166,65 × 203,65 м).

Несущие конструкции из сварных коробчатых профилей – пространственная стержневая система подвешенная к верху пилонов, с оттяжками, которые замыкаются на каркас трибун.



**«ЕКАТЕРИНБУРГ АРЕНА»** на 35 тыс. зрителей.

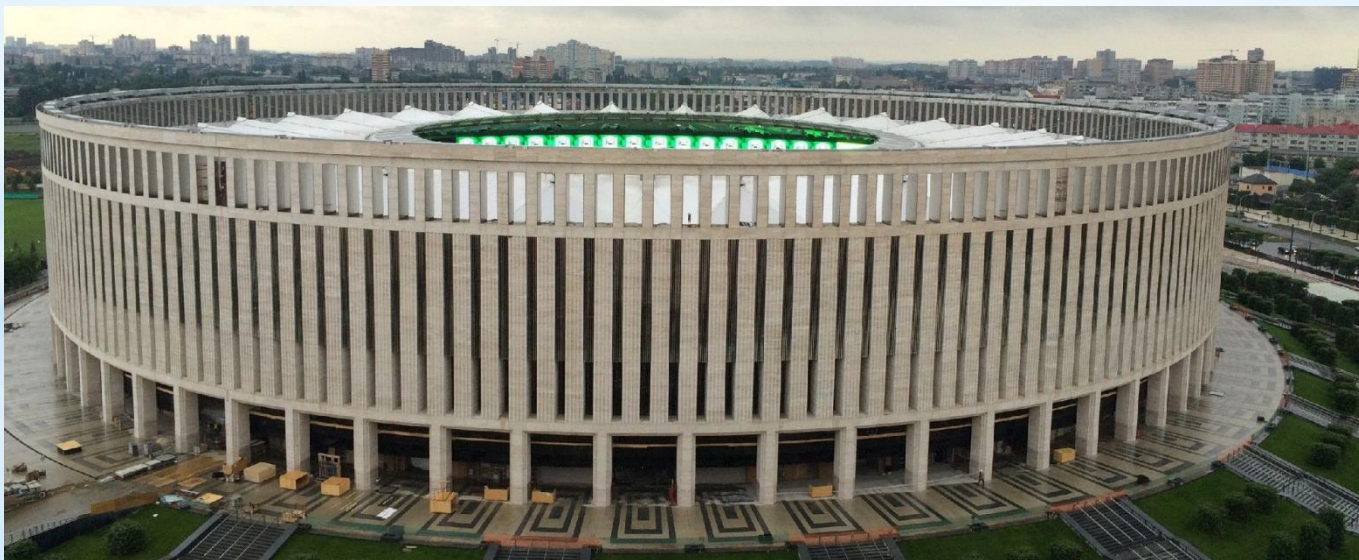
Сооружение круглое в плане диаметром около 180 м. Конструкция покрытия с центральным вырезом — провисающая оболочка - жестких нитей (стальных сварных двутавров), образующих радиально кольцевую систему. Особенностью сооружения является проем пролетом 100 м в наружных стенах.

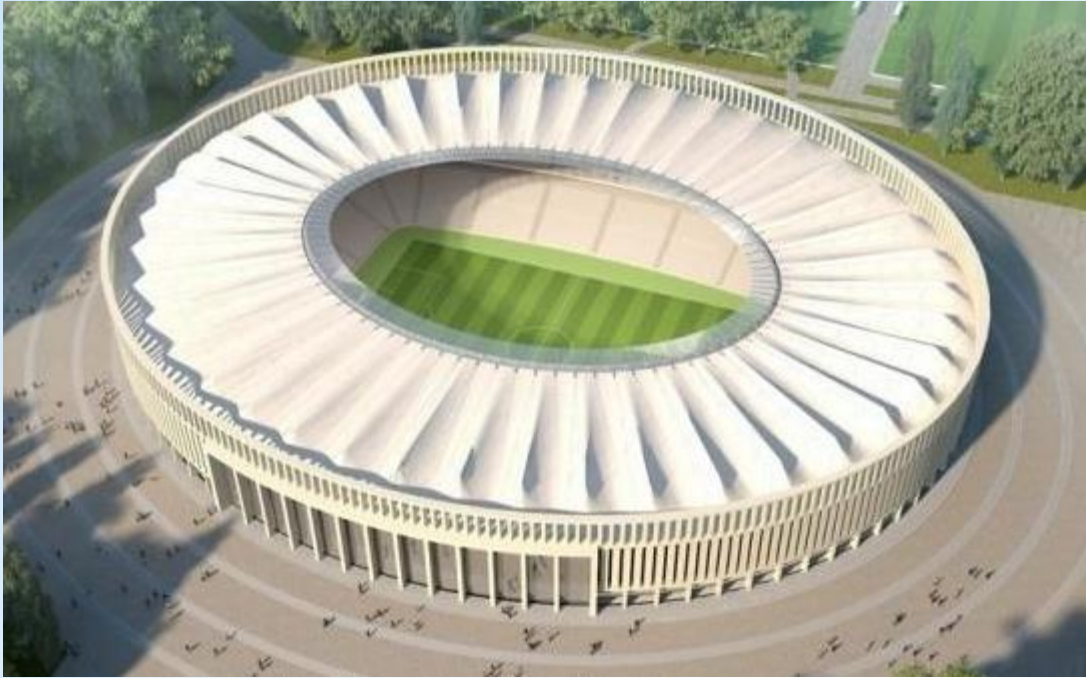




## «КРАСНОДАР АРЕНА» на 33 тыс. зрителей.

Сооружение овальное в плане (190,0 × 230,0 м). Покрытие - вантовая система типа велосипедного колеса с двумя сжатыми наружными контурами и растянутым внутренним кольцом, связанными системой 56 радиальных тросов. Радиальные ванты, расположенные в плане в разбежку, объединены подвесками в круговую систему консольных тросовых ферм с верхним несущим поясом и нижним – стабилизирующим.







## **ФУТБОЛЬНЫЙ СТАДИОН "ЦСКА"** на 36 тыс. мест.

Стадион имеет прямоугольную в плане форму. Поверхность покрытия над трибунами – гиперболический параболоид. Размеры в плане – 215,0x179,2 м. Общая ширина козырька - 47.8 м, вылет консоли - 38.8 м. Несущие конструкции выполнены в виде консольных ферм (сварные двутавры) с оттяжками.



**СТАДИОН "ВТБ-АРЕНА"** в Москве на 33 тыс. мест.  
Стадион в плане имеет овальную форму (300,0x187,0 м),  
высота сооружения – 66.0 м.  
Под оболочкой (сварные двутавры) расположена также  
крытая арена на 13 тыс. мест.

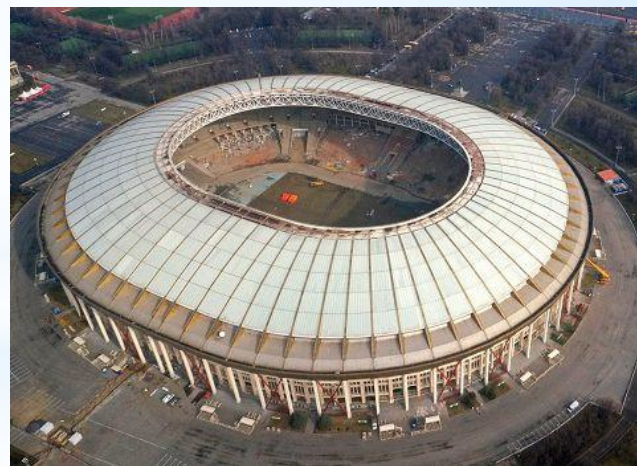




# БОЛЬШАЯ СПОРТИВНАЯ АРЕНА «ЛУЖНИКИ»

Конструкция покрытия над трибунами состоит из двух частей: существующей и вновь возводимой — консольной, присоединяемой к первой.

Консольная часть состоит из радиальных ферм переменной высоты с безраскосной наклонной решеткой, объединенных с радиальными балками первой части покрытия. В единую пространственную систему радиальные балки объединяются при помощи кольцевых ферм, балок и связей.



## СТАДИОН «СПАРТАК» на 42 тыс. мест

Размеры в плане – 219,7х179,1 м. Высота покрытия – 51,1 м. Металлические конструкции козырька включают четыре главные фермы, расположенные вокруг поля. Длинные фермы пролетом 217 м (высота до 22,5 м, ширина до 13,25 м) располагаются вдоль футбольного поля, короткие пролетом 180 м (высота до 19,5 м, ширина до 13,25 м) – поперек. Фермы опираются в восьми точках на железобетонные лифтовые шахты. Конструкция покрытия над трибунами расположена между поясами главных ферм.





## **СТАДИОН «ЗЕНИТ» в Санкт-Петербурге на 62 тыс.мест**

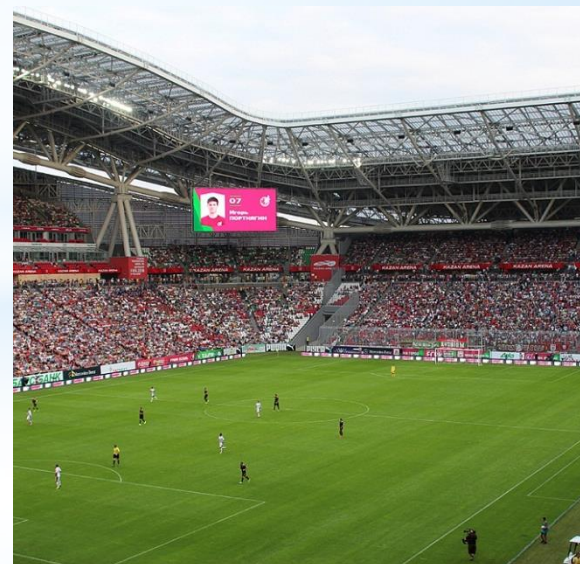
с трансформируемой центральной частью и выдвижным игровым полем

Форма плана – круг диаметром 295,7 м. Максимальная высота покрытия - 56,6м. Строительство закончено в 2017 г. Система конструкций стационарной крыши – каркасная конструкция в виде двояковыпуклой линзы, в центральной части которой устроен проем над футбольным полем. Пространственная металлическая конструкция включает радиальные и кольцевые фермы, связи. Вдоль длинных сторон проема расположены «ездовые» фермы для раздвижного покрытия. Покрытие подвешено на несущих вантах и вантах-оттяжках к восьми стальным наклонным пилонам высотой около 100 м.



## **СТАДИОН «ЛОКОМОТИВ» в Москве на 29 тыс.мест**

Покрытие овальное в плане, размеры по главным осям – 206,0x157,0 м. Площадь покрытия – 20,0 тыс. м<sup>2</sup>. Покрытие над трибунами состоит из радиальных ферм, опертых на внутреннее кольцо и наружные железобетонные стойки. Кольцевые прогоны связывают радиальные элементы в пространственную систему. В четырех углах покрытия установлены А-образные железобетонные пилоны, верх которых служит опорами провисающих вант. К вантам попарно крепятся наклонные подвески, к одним из которых подвешено внутреннее кольцо, а другие крепятся к стойкам каркаса.





Эффективный тип конструкций - **висячие оболочки из тонкого металлического листа, закреплённого на контуре**. Особенности системы – наиболее полное использование прочности, совмещение в одном материале несущих и ограждающих функций. Мембраной толщиной до 5 мм можно перекрывать сооружения пролётом свыше 300 м с разнообразным очертанием в плане. Тонколистовые полотнища шириной до 12 м и длиной на пролет изготавливают на заводах рулонных заготовок.

В этом виде конструкций Россия имеет безусловный приоритет. Техническая идея, выдвинутая русским инженером В.Г. Шуховым еще в конце позапрошлого века, опередила существующий уровень развития науки и техники. На сегодняшний день достижения в области техники создали предпосылки для широкого применения тонколистовых конструкций.

## ТОНКОЛИСТОВЫЕ СТАЛЬНЫЕ МЕМБРАНЫ



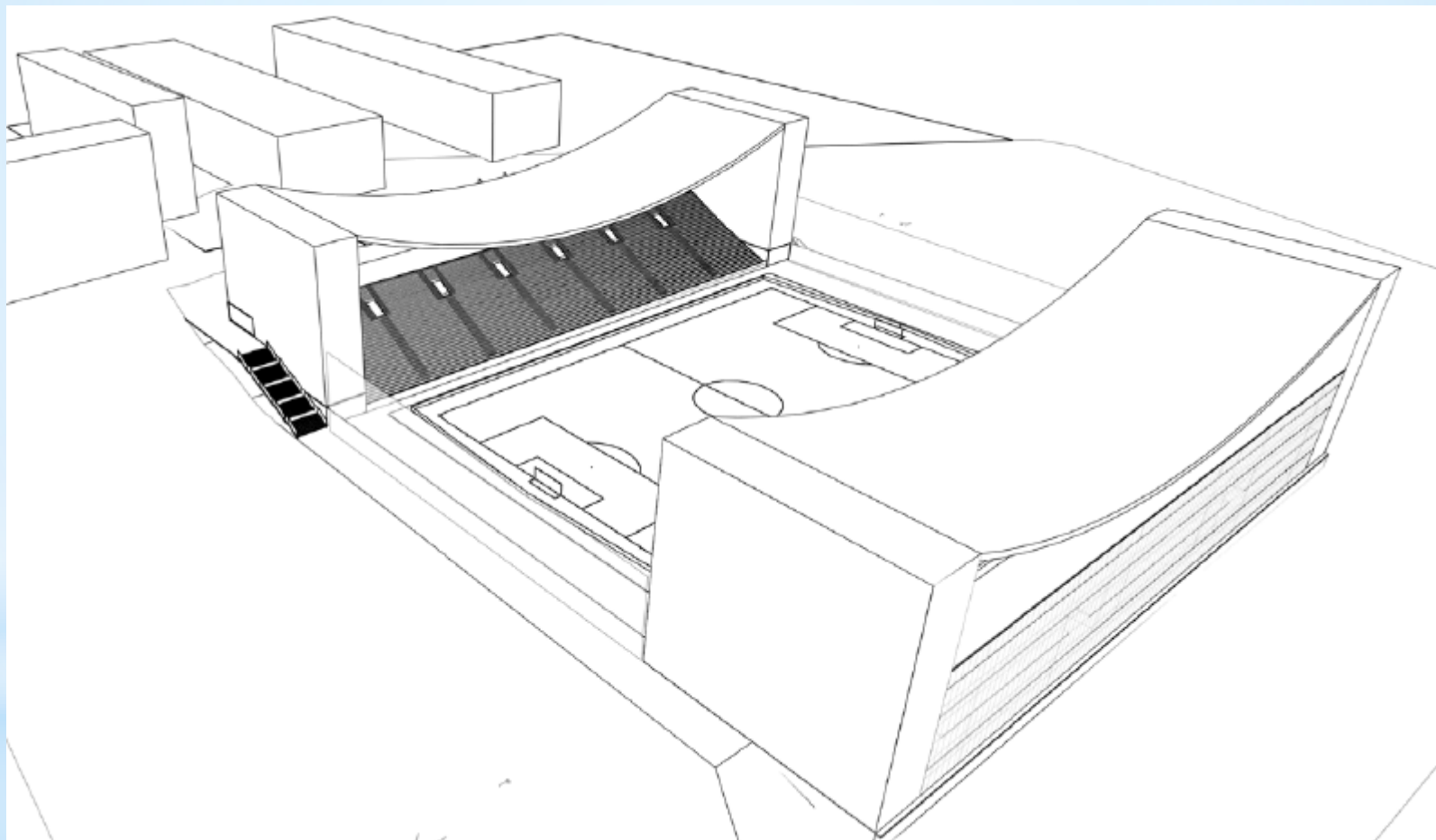
КОНЬКОБЕЖНЫЙ  
ЦЕНТР  
В КОЛОМНЕ.  
Покрытие (200x110 м)  
седловидная  
стальная  
мембрана ( $t=4$  мм)

ЛЕДОВЫЙ ДВОРЕЦ  
СПОРТА. АНГАРСК.  
Покрытие (90x87 м)  
- тонколистовая  
мембрана ( $t=4$  мм)





# ПРОЕКТ СТАДИОНА «ТОРПЕДО»



# ВЫСОТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

К основным несущим элементам высотных зданий относятся колонны, воспринимающие всю или большую часть вертикальной нагрузки на здание. Здесь необходимо использовать прокат больших толщин, особенно эффективно применение сталей высокой прочности с  $\sigma_T \geq 390 \text{ Н/мм}^2$  и более 450 Н/мм<sup>2</sup>, поскольку при этом существенно увеличивается полезная площадь перекрытий. Для создания оптимальных сечений таких колонн используются двутавровые балки с параллельными гранями, толстые листы, а в последнее время – трубы большого диаметра.

**Производство подобного сортамента из сталей высокой прочности для условий строительства в России** (низкие климатические температуры, районы с высокой сейсмической активностью (г. Грозный) и т.п. **является новой задачей**, требуемый прокат не регламентируется нормами РФ.



Производство двутавровых балок с толщиной полки до 140 мм для климатических условий России было налажено в Люксембурге, при совместных работах с заводом «Arcelor Mittal», в частности стали Histar 460 Russia и Histar 355 Russia.

Двутавры упрочняются в потоке стана по специальной технологии термомеханической прокатки с охлаждением струями воды. В результате в сечении формируется сложная высокодисперсная и композитная структура, обеспечивающая в двутаврах из стали Histar 460 Russia высокие рабочие характеристики:

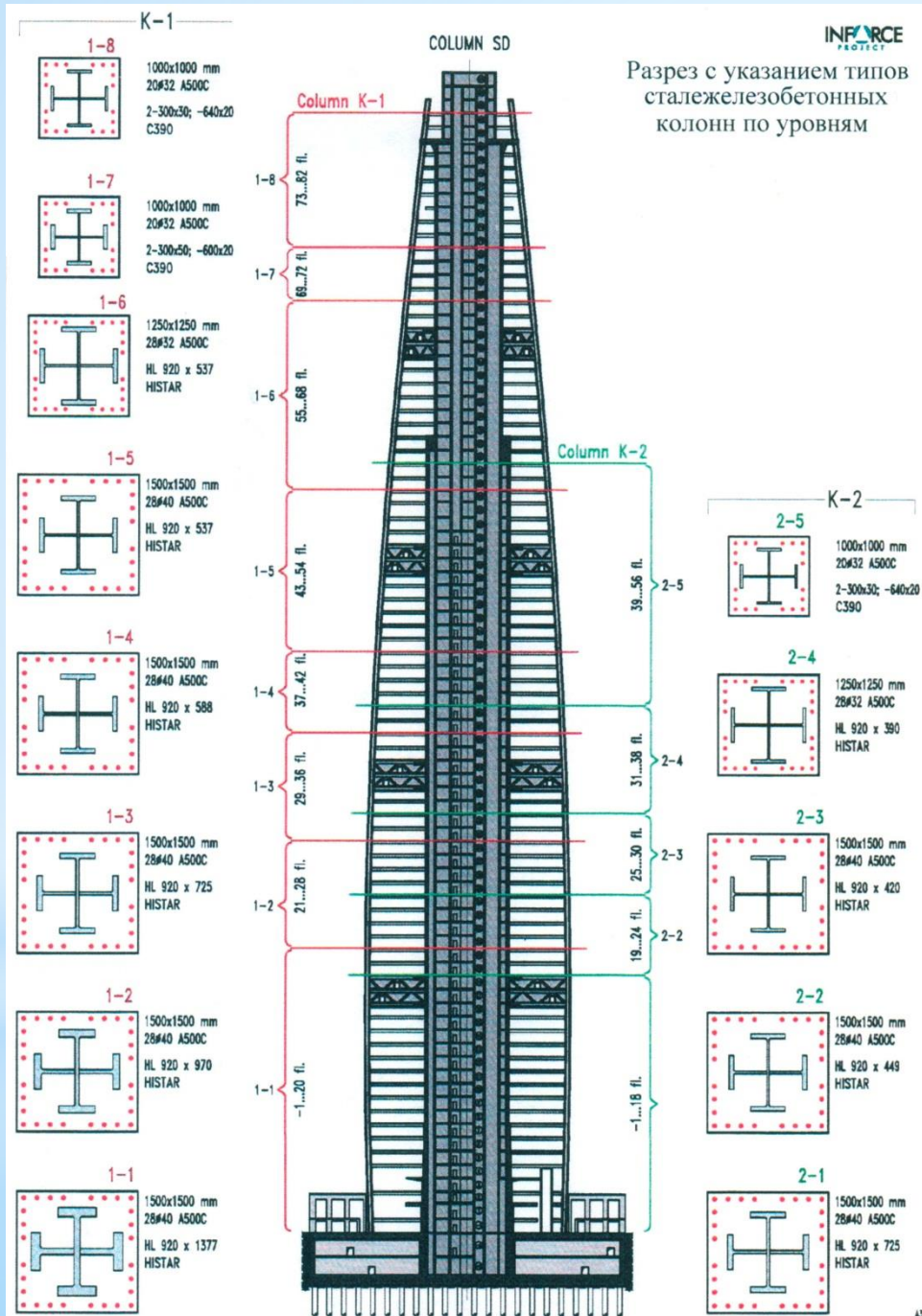
$$\sigma_T = 460 \text{ Н/мм}^2; \quad \sigma_B = 600 \text{ Н/мм}^2; \quad \delta_5 = 20\%.$$

При этом в соответствии с требованиями отечественных стандартов, в металле обеспечивается высокая ударная вязкость на образцах с острым надрезом  $KCV^{-40} = 40 \text{ Дж/см}^2$ .

При проводимых нами исследованиях было установлено, что в поверхностных слоях формируются остаточные напряжения сжатия  $\sigma_{\text{ост}}=0,2\sigma_T$ , как следствие принятой технологии упрочнения, что обеспечивает в целом **высокое сопротивление профилей хрупким разрушениям, переменным нагрузкам и коррозионным воздействиям.**

Прокат также отличается высокой демпфирующей способностью (большая ширина петли механического гистерезиса) как следствие композитной структуры проката, что благоприятно сказывается на работе конструкции при сейсмических воздействиях.





При возведении высотного здания **«Башня Лахта»** в Санкт-Петербурге было применено ~10,0 тыс.т. такого проката, при этом нами была разработана специальная технология комбинированной сварки, что обеспечивает требуемую прочность сварных соединений в элементах больших сечений.

В РФ двутавровые балки с параллельными гранями, в основном, выпускаются на стане УБС 1300 «Евраз НТМК». В настоящее время нами при совместной работе с АРСС и комбинатом улучшен сортамент и повышена прочность выпускаемой продукции (толщина полков до 35 мм,  $\sigma_T=450$  Н/мм<sup>2</sup>).

## Пропорциональное соотношение используемой зарубежной и отечественной стали в здании «Башня Лахта»

Сводная таблица стали до 16 уровня

№ п/п	Тип конструкции	Сталь	Масса, т	Процентное соотношение, %
1	2	3	4	5
1	Колонны	Зарубежная сталь (HISTAR 460)	2528,1	~86
2		Отечественная сталь С245...С440	345,6	~14
3	Балки	Отечественная сталь С235...С345	2779,8	100
	Итого:	Доля зарубежной стали от общей массы колонн и балок до 16 уровня		~ 45



В Министерстве строительства утверждается стандарт на новые профили, по ТУ они уже стали поступать на строительство в г. Санкт-Петербурге.

Согласно проекта высотного здания в г. Грозном (Башня Ахмад) в колоннах намечено применение толстых листов до 100 мм из стали беспрецедентно высокой прочности для РФ: С690.

Как изготовитель этой стали выбран австрийский завод в г. Линц, в толщинах до 60мм здесь производится сталь alform 700M: высокопрочная мелкозернистая сталь, полученная путём термомеханической прокатки. У толстых листов толщиной 50-60мм из этой стали  $\sigma_T=650$  Н/мм<sup>2</sup>,  $\sigma_B=770$  Н/мм<sup>2</sup>,  $\delta_5=12\%$ ;  $KCV^{-40}=50$  Дж/см<sup>2</sup>. Процесс термомеханической прокатки реализуется при низком содержании углерода ( $C \leq 0,08\%$ ) и легирующих, и поэтому сталь хорошо сваривается по тем же технологиям, что и фасонный прокат.

Для обеспечения требуемых свойств в толщинах 60...100мм приходится применять стали после закалки и отпуска (термически улучшенные) с бóльшим содержанием углерода (до 0,2% С) и бóльшим содержанием легирующих. При этом в прокате гарантируются свойства с  $\sigma_T=650$  Н/мм<sup>2</sup>,  $\sigma_B=770$  Н/мм<sup>2</sup>,  $\delta_5=14\%$ ; KCV<sup>-40</sup>=34 Дж/см<sup>2</sup>. Для сварки таких толстых листов, особенно на строительной площадке, необходима разработка специальных технологий, включая необходимость устранения остаточных напряжений после сварки.

В настоящее время нами заканчиваются совместные работы с заводом «Выксунский МЗ» (Объединенная металлургическая компания) по разработке сталей данной прочности с хорошей свариваемостью. Такие стали отечественного производства на станах 5000 будут применены в строительстве при своевременном обращении заказчиков в наш адрес, а также к металлургам.



**Перспективным** для применения в высотном строительстве является **использование современных электросварных труб большого диаметра до 1400мм с толщиной стали до 45 мм.**

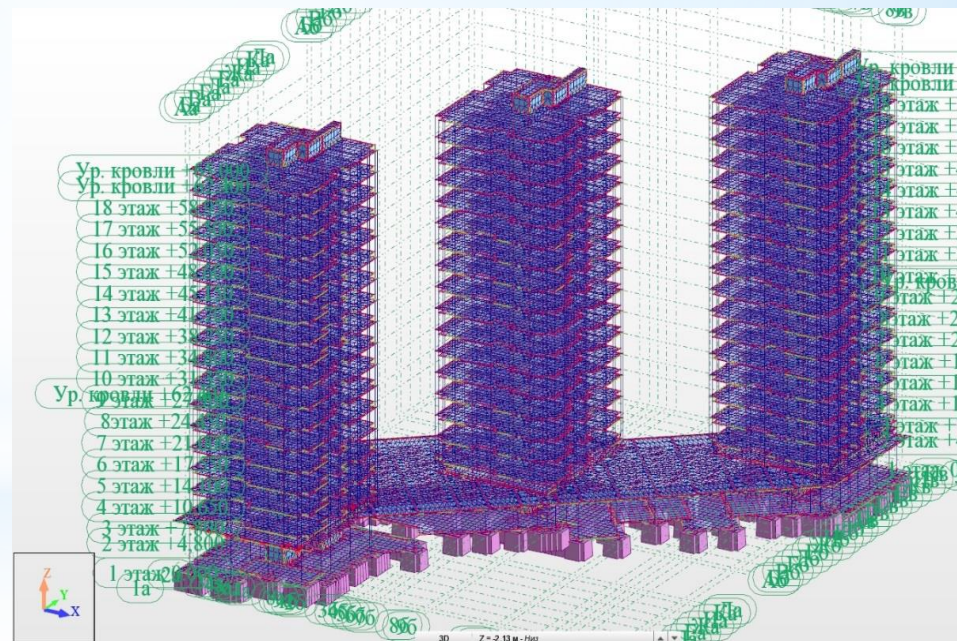
Круглая труба в конструкциях имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с сечениями из плоских элементов при работе на сжатие, при ветровых, коррозионных и кратковременных высокотемпературных (при пожаре) воздействиях. В экономическом отношении применение труб особенно эффективно в случае их высокой прочности ( $\sigma_T > 390 \text{ Н/мм}^2$ ).

В настоящее время такие трубы изготавливаются на отечественных заводах из толстых листов, произведённых термомеханической прокаткой с ускоренным охлаждением, они поставляются в классах прочности С390, С440, а в последнее время и С690, при этом стали обладают высоким сопротивлением хрупким разрушениям, например,  $KCV^{-40} = 34 \text{ Дж/см}^2$ . Такие трубы начали нами применяться в ответственных сооружениях; в 2017 г. выходит стандарт на эти изделия.

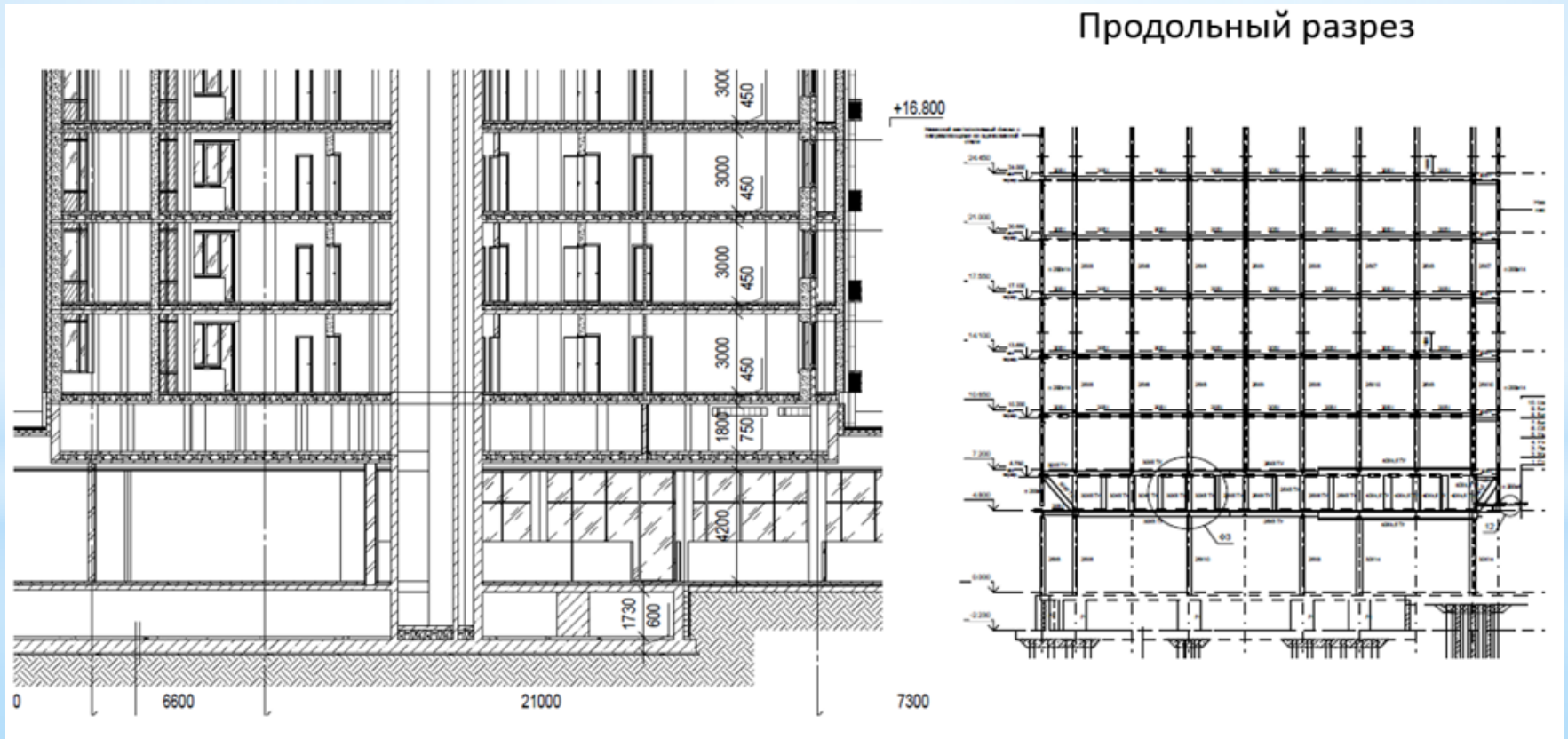
Таким образом, в настоящее время **высотное строительство в России практически обеспечено инновационными решениями в части металла нужного сортамента, высокой прочности и качества.**



Новый прокат, в том числе с использованием сталей до С440, внедрен в строящемся **Офисно-деловом центре ЖК Ривер парк** (Нагатинский затон, Москва), который представляет из себя комплекс из трех 18-этажных башен с одноэтажным стилобатом, в котором функционально объединены торговые и офисные помещения (на 1 этаже), а также комплекс апартаментов в высотных частях. Общая площадь комплекса – около 30 000 м<sup>2</sup>.



По соображениям повышения привлекательности помещений 1 этажа было принято решение увеличить шаг колонн до 6,6х6,6 м. Поскольку здания располагаются в непосредственной близости от инженерных сетей водоснабжения городского значения и канализационного коллектора, часть углов здания вывешены на консолях вылетом около 3м. Для обеспечения архитектурного замысла были реализованы переходные фермы в уровне 2 технического этажа высотой около 2 м.





Общая металлоемкость объекта – 2 900 тонн, что составляет около 95 кг/м<sup>2</sup> с учетом тяжелых конструкций консольных и перехватных ферм 2 этажа. Многоэтажные части имеют металлоемкость не более 52 кг/м<sup>2</sup>, при этом подчеркивается возможность свободной планировки офиса/апартаментов с любым материалом перегородок, а также неограниченные возможности объединения офисов/апартаментов в пределах этажа без ущерба для несущей способности здания.

Примером долголетней успешной эксплуатации зданий со стальным каркасом могут являться «сталинские» высотки (с 1955-х), ЦМТ в Москве (с 1979 г.), а также ДВФУ на о. Русском (с 2011 г.) и многие другие.



## ПЕРСПЕКТИВЫ ЛСТК

Все более широкое применение находят **системы легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК)**, доля которых в общем объеме строительства в России постоянно растет.

Основные причины, побуждающие спрос инвестора, связаны с известными достоинствами материала (**прочность, надежность, непроницаемость, возможность высокой рациональности использования** и пр.) и рядом дополнительных преимуществ.

Современное оборудование дает возможность получить сечения различных форм и конфигураций, начиная от швеллерных и заканчивая сечениями сложной геометрии, хорошо отвечающими конкретным случаям нагрузок. **Это обеспечивает рациональный расход металла и низкую металлоемкость при высокой технологичности изготовления.**

Во время изготовления профилей ЛСТК гибочная линия рационально позволяет выполнять в них отверстия различной формы и размеров, просечки, высечки и резы. Это используется для пропуска коммуникаций, установки метизов, упрощения соединения профиля в зоне стыка, улучшения термоизоляционных свойств элементов.

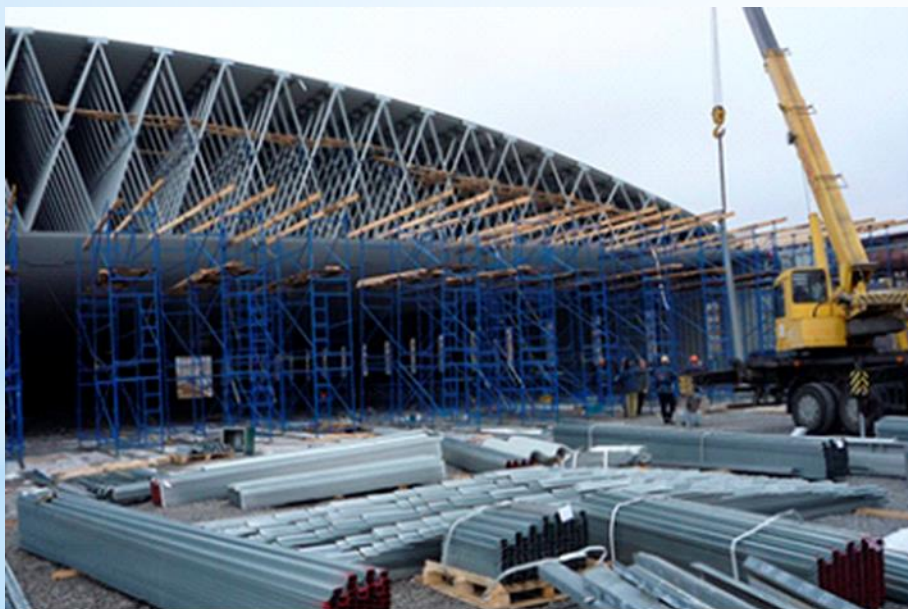
Сокращение расходов на строительство здания на основе ЛСТК достигается **за счет простоты и высокой скорости монтажа и изготовления, обеспечивающих максимально быстрый ввод объекта в эксплуатацию.**



## Бескаркасные здания

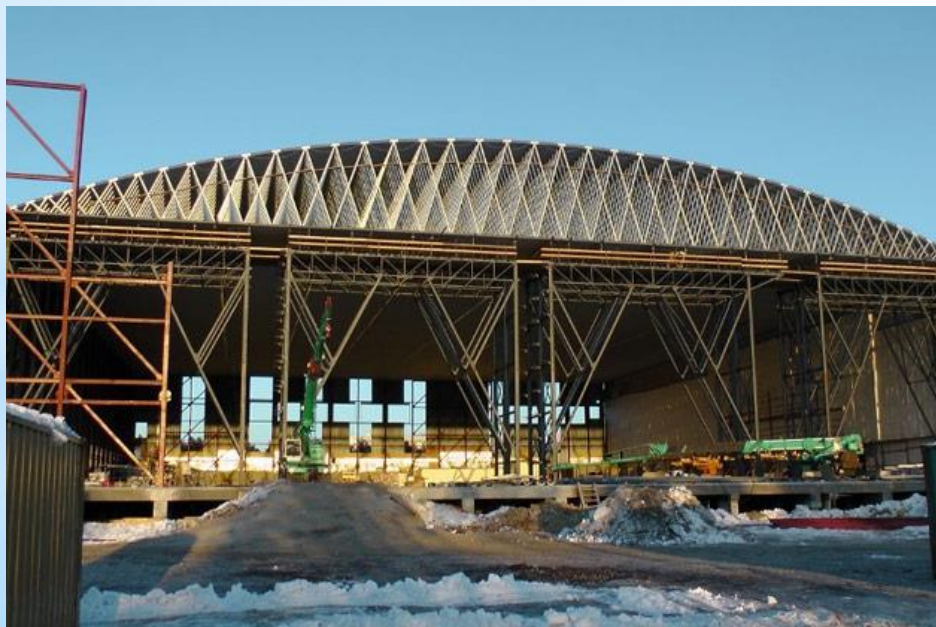
Основные особенности бескаркасных зданий – низкая материалоемкость, поскольку несущие конструкции одновременно являются ограждающими, высокая скорость возведения, возможность разборки и повторного применения, высокая сопротивляемость прогрессирующему обрушению.

Наиболее значимые реализованные проекты: крытые футбольные манежи в г. Якутск – 90х132 м, и г. Пермь – 88,3х132 м, г. Липецк – склад огнеупоров 70х132 м, ангары в г. Саратов и Воронеж – 50х100 м и др.



ОАО «НЛМК», склад огнеупоров (бескаркасное здание)

**Бескаркасные здания компаний «HONCO» и ЗАО «Эксергия»** представляют конструкцию, основным несущим элементом которой является стальной профилированный лист (типовой структурный элемент), применяемый в качестве основной несущей конструкции как в стеновом ограждении, так и в покрытии. Структурный элемент изготавливается из стального волнистого профилированного листа толщиной 0,8-2 мм, высотой 128 мм и шириной 1 м. Внутри покрытия с шагом 1 м выполняется крестовая раскосная решетка. Покрытие в поперечном сечении представляет собой ферму, у которой верхний пояс имеет арочное очертание, а нижний пояс – прямолинейный. Конструкции могут быть использованы как самостоятельные конструкции, так и в составе одного сложного сооружения.





## ВЫСОТНЫЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СТЕЛЛАЖНЫЕ СКЛАДЫ

(известны как *Clad Rack Warehouse*  
или *High-Bay Warehouse*)

В настоящий момент являются наиболее инновационным типом логистических систем и, вместе с тем, одним из самых крупных и технически сложных типов зданий, строящихся по технологии ЛСТК.

Как правило, эти здания проектируются высотой до 50-ти метров с многоярусными системами хранения и интегрированными в конструкции кранами-штабелерами. Конструкции стеллажей совместно с объединяющими элементами покрытия образуют поперечную раму, воспринимающую все атмосферные и технологические нагрузки.

