

## **Из истории развития металлических конструкций**

Бегменов Бердимурат, Каленкович С.А.  
(Научный руководитель – Башкевич И.В.)  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Первые металлические (железные) строительные конструкции в виде скреп-затяжек для восприятия распора сводов появились в середине века; античная архитектура еще их не знала. В России в Успенском соборе во Владимире, построенном в 1158 г., уже имеется хорошо развитая система таких затяжек. Затем затяжки стали использовать и для других целей. В соборе Василия Блаженного в Москве, сооруженном в середине XVI в., имеются затяжки, к которым подвешены потолки, причем ряд затяжек укреплен подкосами. Применялись железные конструкции и для стропил.

В конце XVII и начале XVIII века в России имелось очень много железных стропил над гражданскими зданиями. Эти стропила не были фермами; они состояли из насланных железных ног, подпертых железными стойками, опирающимися на нижнее, обычно сводчатое, перекрытие или окружающую своды конструкцию, и перекрывали довольно большие пролеты (до 20 м).

Широкое распространение в XVII и XVIII вв. имели пространственные железные конструкции в виде каркасов, поддерживающих кровли церковных куполов. За рубежом в указанный период железные конструкции были также распространены.

В первой половине XVIII в. в Англии был освоен процесс литья чугуна для строительных целей; начиная с середины XVIII в. чугунные конструкции получили здесь распространение как в мостовом, так и в гражданском и промышленном строительстве. В России чугун использовался меньше. Сегодня используется, в основном, в строительстве высотных сооружений (до 600м).

Первые железные покрытия промышленных зданий в России были поставлены в 1757 г. на Кыштымском заводе. Примененные здесь стропильные фермы появились в результате эволюции насланных железных стропил XVII и XVIII вв., в которых, как было указано выше, стропильные ноги поддерживались стойками, опиравшимися на пото-

лочное перекрытие (обычно свод). Стойки эти имели разнообразные крепления, так как было известно, что длинные стержни плохо работают на сжатие. Уже в середине XVIII в. опирание на свод было признано нерациональным, и стойки, вместо того чтобы опираться на нижнее перекрытие, подвешивали с помощью тяг к опорным точкам стропил. Таким образом возникла шпренгельная ферма.

Соединением двух шпренгельных систем получена ферма, состоящая из двух полуферм, связанных затяжкой. Эта эволюция стропильных конструкций нашла свое завершение в конструкциях перекрытий Зимнего дворца в Петербурге, восстановленных после пожара 1837 г. Правда, в фермах Зимнего дворца еще не были поставлены раскосы, однако такой проект существовал.

В первой XIX в. железные конструкции достигли на территории России высокой степени развития. О размахе строительства говорит тот факт, что при стройке в 1846 г. Калашниковской биржи в Петербурге было поставлено более 900 железных стропильных ферм. Некоторые перекрытия того времени имели относительно большие пролеты. Поскольку рациональность уголковых и швеллерных сечений для сквозных конструкций была вполне ясна строителям и такие сечения изготовлялись гнутьем разогретых полос на специальных машинах – «жомах».

Следует отметить, что развитие железных строительных конструкций в России шло очень медленно и до конца XIX в. основной конструкцией оставалась треугольная стропильная ферма с узлами на проушинах, весьма несовершенная по своей конструктивной форме (рисунок 1).

За рубежом в промышленном строительстве преобладали сравнительно небольшие здания с пролетами незначительной величины. Однако там было построено довольно много общественных зданий, выставочных павильонов, вокзальных перекрытий, крытых рынков, башен и тому подобных сооружений. Преследуя зачастую чисто рекламные цели, им придавали иногда рекордно большие размеры. Здесь должны быть отмечены: Хрустальный дворец в Лондоне (1852 г.); павильоны Парижских выставок, где пролеты некоторых павильонов уже достигали 100 м и более; башня Парижской выставки 1889 г. (башня Эйфеля) высотой 300 м; перекрытия вокзалов во Франкфурте, Дрездене и др. Строительство всех этих сооружений оказало большое влияние на уменьшение веса и улучшение конструктивной формы металлических конструкций.

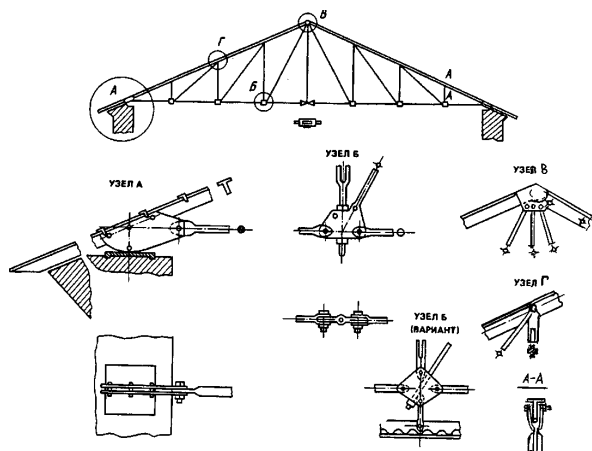


Рисунок 1 – Стропильная ферма (70-е годы XIX века)

Во второй половине XIX в. в России ведущими среди металлических конструкций были мостовые конструкции. Мосты появились в России еще в конце XVIII в.; дальнейшее развитие они получили в начале XIX в.

В 40-х годах XIX в. появился прокат в виде фасонного железа, двутавровых балок и листа, и благодаря этому обстоятельству железные конструкции приобрели современную форму; появились сплошные балки. Начало интенсивного железнодорожного строительства резко стимулировало развитие строительства железных мостов.

Развитие тяжелых металлических конструкций в мостостроении, приведшее к развитию металлических конструкций в других областях строительства, связано с именами знаменитых русских инженеров: С. В. Кербедзя, Н. А. Белелюбского и Л. Д. Проскурякова. С.В. Кербедзь (1810 – 1899 гг.), построивший первый в России железный мост через реку Лугу, применил для этого моста сквозные фермы.

Процесс поиска более совершенной конструктивной формы производственного здания продолжался с 80-х годов XIX в. по-разному в разных странах. Наиболее интенсивно он протекал в США, где впервые появился стальной каркас.

В Германии эта эволюция проходила более сложно. Интенсивное развитие теоретических знаний, стремление приблизить конструктивную форму к теоретическим предпосылкам привели к широкому

применению достаточно сложных шарнирных схем (двух- и трех-шарнирных). Такие схемы, весьма трудоемкие в изготовлении и монтаже – были в то же время наиболее близки к расчетным предположениям, а потому осуществимы при наименьшем коэффициенте запаса и, следовательно, более экономичны. Видимая ясность (с расчетной точки зрения) конструктивных решений Германии делала их весьма доходчивыми, благодаря чему они получили широкое распространение у проектировщиков того времени. В России эволюция конструкций производственных цехов шла аналогичным путем, только более медленно.

Переход на новые типы перекрытий в конце XIX и начале XX вв. связан с именами русских инженеров: Ф. С. Ясинского, В. Г. Шухова и И. П. Прокофьева.

Профессор Ф. С. Ясинский (1856–1899 гг.) известен как исследователь продольного изгиба; кроме того, он известен также как инженер-строитель, существенно улучшивший в середине 90-х годов XIX в. конструктивную форму перекрытий производственных зданий, в то время, как правило, еще не имевших кранового оборудования.

Особенно многообразна инженерная деятельность почетного академика В. Г. Шухова (1853–1939 гг.). В области покрытий В. Г. Шухов развивал идеи пространственных систем, причем разработанные им конструкции отличаются исключительным разнообразием и оригинальностью. Для покрытий производственных зданий он первым применил оболочки двойкой кривизны и вообще внес значительный вклад в развитие металлургии.

Профессор И. П. Прокофьев развил идеи профессора Ф. С. Ясинского в ряде большепролетных покрытий (Мурманские и Перовские мастерские Московско-Казанской ж.д., Московский почтамт и др.) и провел большую работу по объединению опыта изготовления и монтажа стальных конструкций. Его книга «Железные мосты. Обработка, сборка и установка» (1911 г.) была первым руководством в этой области в России.

В годы советской власти стальные конструкции получили существенное развитие главным образом в области промышленного строительства. Большое значение для этого развития имело то обстоятельство, что для решения больших государственных задач социалистического хозяйства страны конструкторы и проектировщики были объединены в крупные проектно-производственные коллективы.

Перед советскими строителями в области стальных конструкций промышленных зданий возникли новые задачи, на основе разрешения которых выросла советская школа проектирования.

В середине 30-х годов получают широкое распространение стальные конструкции в многочисленных цехах машиностроительной промышленности. Большая повторяемость конструктивных решений привела к развитию типового проектирования, в результате которого трестом Промстройпроект были разработаны в 1939 г. типовые секции промышленных зданий массового применения, а также и типовые стальные конструкции для этих секций.

Широкое применение стальных конструкций позволило обобщить основные принципы конструирования, выработанные советскими конструкторами: одинаковое внимание к проблемами экономии стали, экономии труда при изготовлении конструкций и скоростного монтажа. Эти принципы были положены в основу советской конструкторской школы, которая и оформилась в этот период.

Во время Великой Отечественной войны при перебазировании промышленности на восток страны стальные конструкции применялись весьма широко, в особенности благодаря их специфическому преимуществу – быстрой возведению.

В послевоенный период в связи с огромным объемом восстановительного строительства особенно остро встал вопрос об экономии стали. Значительно увеличился удельный вес сквозных конструкций; были найдены малотрудоемкие решения сквозных колонн и стропильных ферм (ригелей, рам). Большое внимание было обращено на упрощение конструктивной формы и экономную компоновку конструкций зданий в целом, а также на учет пространственной работы каркаса цеха, включая работу кровли, что позволило упростить конструкцию связей и существенно уменьшить затрату стали на здание в целом. Сегодня же в основном используются стальные конструкции. Применение стальных конструкций открыло неограниченные возможности для получения уникальных параметров строительных конструкций.

В зависимости от конструктивной формы и назначения металлические конструкции можно разделить на несколько видов:

Промышленные здания, большепролетные покрытия зданий, мосты и эстакады, листовые конструкции, башни и мачты, каркасы многоэтажных зданий, крановые и другие подвижные конструкции.

Из большепролетных покрытий следует отметить тонкостенные металлические висячие оболочки-мембраны. В мембранном покрытии листы закрепляются в контурном и внутреннем опорных кольцах. Применение мембран целесообразно при значительных пролетах (100–200 м и более). Примером мембранного покрытия может служить покрытие универсального спортивного зала на 25 тыс. мест в г. Санкт-Петербурге. Покрытие представляет стальную сварную оболочку из листа толщиной 6 мм, подвешенную к круглому железобетонному кольцу, покоящемуся на 56 опорах. Монтажными элементами служат сварные тавры сечением из листов 500x14 и 200x12 мм. Для стабилизации оболочки (при отсосе ветра) и отвода воды на оболочку в средней ее части уложены радиальные стальные фермы с железобетонным настилом, а также подвешенную в центре плиту диаметром 72 м с размещением на ней технологического оборудования. В крайних частях оболочка подкреплена радиально расположенными тросами диаметром 55 мм. Это предотвращает чрезмерные деформации легкой оболочки при неравномерном нагружении снегом и ветром.

Олимпийский универсальный стадион на проспекте Мира в Москве в виде овала с осями 224 и 183 м перекрыт металлической мембраной толщиной 5 мм (рисунок 2). Шаг колонн по периметру 20 м. Конструкция мембраны состоит из монтажных элементов в виде гибких нитей из решетчатых ферм, объединенных в сетку с заданной поверхностью, на которые укладывают лепестки, заранее раскроенные, сваренные и свернутые на заводе в рулоны. Монтажные элементы обычно включают в работу и используют их для стабилизации мембраны.

Впервые возведенное в РБ уникальное большепролетное (116 м) вантовое покрытие спортивно-зрелищной арены комплекса «Минск-Арена» с применением высокопрочных прядей (рисунок 3). Висячие покрытия являются одной из наиболее перспективных конструктивных форм для перекрытия сооружений больших пролетов. Этому способствует ряд преимуществ висячих покрытий перед традиционными жесткими формами. Такие конструкции работают на растяжение, что позволяет наиболее полно использовать высокопрочный материал. Висячие покрытия позволяют предельно уменьшить строительную высоту и сократить отапливаемый объем здания, чем обеспечивается наибольшая экономия энергоресурсов.

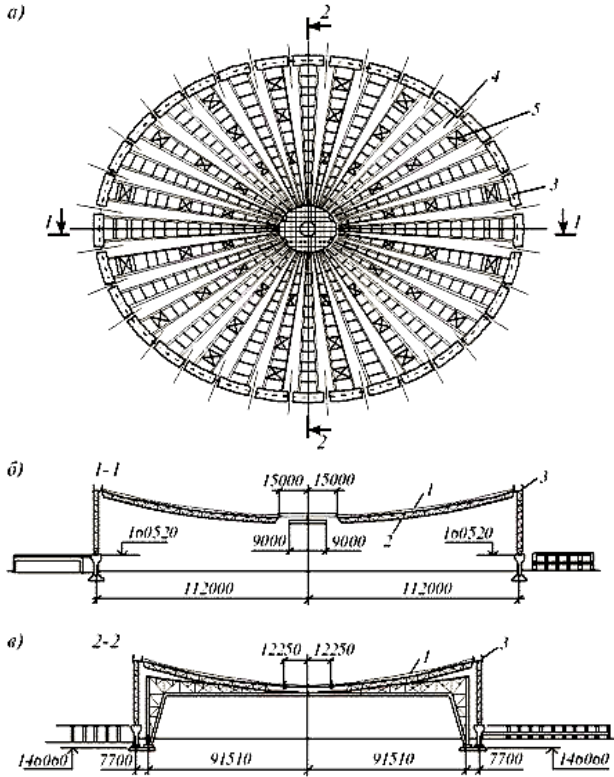


Рисунок 2 – Покрытие универсального стадиона «Олимпийский» в Москве

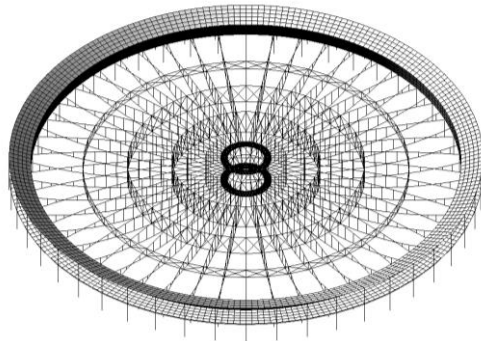


Рисунок 3 – Аксонометрия вантового покрытия (конечно-элементная модель)

Расчет центральных металлических колец (рисунок 4), к которым крепятся несущие и стабилизирующие ванты выполнен при различных нагрузках, включая особые сочетания, обусловленные отказом (разрушением) одной из вант, а также развитием больших деформаций в поясах кольца. В качестве наружных опорных колец используются железобетонные перекрытия поперечным сечением 6300x300 мм, соединенные между собой по внутренней грани цилиндрической стенкой. Бетонная стена толщиной 400 мм расположена по всей окружности диаметром 116 м. В местах крепления вант установлены монолитные железобетонные пилоны шириной от оси стены 1000 мм, толщиной 700 мм (рисунок 5).

Смонтированная вантовая система покрытия представлена на рисунке 6.

Из башенных конструкций следует отметить недавно построенную решетчатую радио-



Рисунок 4 – Центральный барабан



Рисунок 5 – Крепление вант к железобетонному кольцу



телевизионную башню «небесное дерево» высотой 634 м (Токио) самую высокую в мире башню  $H = 828$  м (Дубаи).

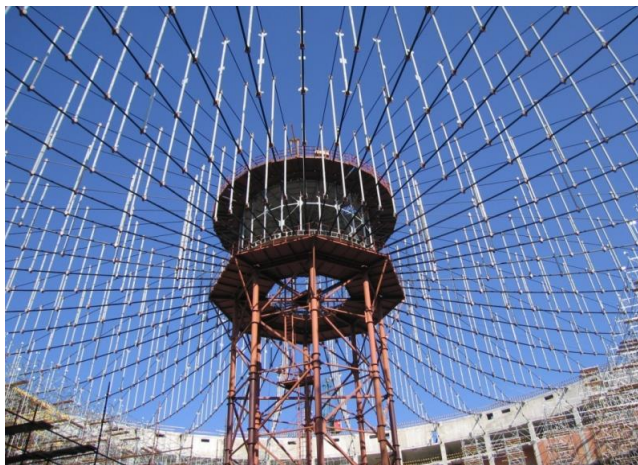


Рисунок 6 – Смонтированные ванты покрытия

### **Литература**

1. Металлические конструкции. Общий курс. Учебник для вузов – 7-е изд., перераб. и доп. /Под ред. Г. С. Веденикова. – М.: Стройиздат, 1998. – 760 с.
2. Журнал «Архитектура и строительство» 11/2009. – Минск.