

ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ КАРКАС XXI **Перспективные технические решения**

1. Объект и задачи разработки.

Объект разработки соответствует, главным образом, положениям, сформулированным в статье [/2/](#), т.е. это каркасы массового строительства, собираемые на стройплощадке из отдельных стержневых и узловых элементов.

Состояние и перспективы развития подобных строительных систем наиболее полно отражаются в материалах конференций «SPACE STRUCTURES», проводимых Сурейским университетом раз в 9 лет, начиная с 1976г. Рассматривая материалы 4-ой и 5-ой конференций, проведенных в 1993 и 2002 годах, можно заключить, что в мировой практике окончательно утвердился классический принцип построения пространственных каркасов, впервые выдвинутый и воплощенный Менжерингхаузенем в системе «МЕРО КК» (КК - Kugelknoten) [1].

В каждой системе «КК» используется шаровидный узловый элемент – коннектор, имеющий радиальные крепежные отверстия, предназначенные для присоединения стержней каркаса. Конструкция шаровидных коннекторов, в принципе, не изменилась за все время их использования, но технология изготовления за последние 15-20 лет претерпела коренные изменения с появлением обрабатывающих центров ЧПУ и развитием информационных методов. Правда, эти нововведения пока не коснулись отечественной практики и их освоение для нас - **Задача №1**.

Стержень, как правило, кольцевого (труба) или кругового профиля имеет на каждом конце средство стыковки с коннектором, включающее резьбовую крепежную деталь в виде болта или шпильки, которая соединяет стержень с коннектором. В остальном средства стыковки и, следовательно, типы стержней различны по конструкции и этими различиями определяется, в основном, уровень технико-экономической эффективности конкретной системы «КК» в заданной области применения.

Конструкция стержня «МЕРО КК», сформированная в середине XX века, осталась до сих пор неизменной и, несмотря на коренную модернизацию технологии производства, сохранила свои исконные недостатки:

- 1) чрезмерная унификация, однотипность всех стержней, независимо от знака и модуля действующих в них усилий;
- 2) необратимое включение в конструкцию стержневого элемента резьбовой крепежной детали и механизма свинчивания стыка;
- 3) наличие штифта, ослабляющее тело болта, препятствующее достаточно сильной затяжке резьбового соединения;
- 4) высокие требования к точности механической обработки деталей (поле допуска на длину стержня порядка 0.5мм);
- 5) наличие в конструкции трубчатого корпуса поперечного сварного шва, надежность которого обеспечивается использованием лазерной сварки и тщательным неразрушающим контролем;
- 6) трудоемкость сборки каркаса на стройплощадке, в т.ч. из-за невозможности использовать механизированный инструмент.

По перечисленным причинам каркасы системы «МЕРО КК» в своем классическом виде экономически неконкурентоспособны в массовом строительстве и применяются, исключительно, в уникальных, престижных объектах [1].

Отечественные аналоги «МЕРО КК» - системы «МАрхИ» и «Кисловодск» более пригодны для массового применения благодаря значительным упрощениям, внесенным в оригинал. Экономичные примеры их использования в беспрогонных и сильно разреженных схемах покрытия зданий приведены в [/5/](#), [/6/](#), [/10/](#), [/11/](#).

Среди известных в мире систем «КК» японская система «КТ» [2] в наибольшей степени свободна от перечисленных выше недостатков «МЕРО КК».

1. Система «КТ» включает 4 типа стержней, в каждом из которых имеются модификации, соответствующие различным условиям нагружения и иным особенностям применения. Базовый тип стержня «КТ-1» предназначен для восприятия сравнительно небольших усилий растяжения и сжатия, наиболее широко применяется и, в основном, определяет технико-экономические показатели каркасов системы «КТ».

2. В стержневом элементе крепежный механизм конструктивно и технологически отделен от корпуса и выполнен в виде отдельного агрегата, который ввинчивается в торцевое резьбовое отверстие корпуса. Крепежный агрегат включает:

- корпус в виде цилиндрической муфты с наружной резьбой, по которой агрегат сопрягается с корпусом стержневого элемента;
- крепежную шпильку, которая пронизывает цилиндрическую муфту, имеет на одном конце правую резьбу и шестигранный приводной пояс, а на другом конце левую резьбу;
- анкерную гайку, которая навинчена на шпильку по левой резьбе;
- шестигранную приводную муфту, которая надета на праворезьбовой конец шпильки и сопряжена с ее приводным пояском;
- средство выталкивания шпильки при сборке каркаса, выполняемое в виде пружины, либо в виде технологической резьбы, по которой шпилька сопрягается с корпусной цилиндрической муфтой в модификации «КТ-1 Rev.».

Выполнение крепежных узлов в виде отдельных агрегатов повышает технологическую гибкость производства стержней, дает возможность производить такие агрегаты «на склад» или заказывать их на специализированных предприятиях. Непосредственно перед соединением агрегата с корпусом возможна оперативная корректировка размеров деталей, прочностных показателей шпильки и других параметров.

3. Сопряжение приводной муфты со шпилькой через ее шестигранный пояс не ослабляет шпильку, дает возможность затянуть стык с любым требуемым усилием. Это повышает вибростойкость стыков, но не менее важно, что при этом обеспечивается совместность угловых перемещений по торцам стержней, соединенных в узле. В результате повышается несущая способность сжатых стержней, что может быть учтено на стадии проектирования и способствовать снижению металлоемкости каркаса [/13/](#).

4. Требования к точности мехобработки деталей значительно снижаются, т.к. наиболее строгий допуск на длину элемента может быть обеспечен при ввинчивании агрегатов в корпус на свободно регулируемую глубину.

5. Усилие передается от коннектора к трубчатому корпусу стержня через крепежный агрегат, далее, через внутреннюю резьбу конусовидного наконечника, в которую ввинчен агрегат и, наконец, через поперечный сварной шов, который соединяет наконечник с трубой. Здесь, как и в системе «МЕРО», существуют все проблемы, связанные с выполнением качественного сварного шва, обеспечением его прочностной надежности.

6. Сохраняются также и проблемы, связанные с трудоемкостью сборки каркаса, т.к. технология свинчивания стыков и используемый ручной инструмент остаются теми же, что при сборке каркаса «МЕРО».

Задача №2 состоит в том, чтобы получить и реализовать технические решения стержневых элементов, которые обладали бы преимуществами «КТ-I», обозначенными в пп. 1-4 и в то же время были бы свободны от недостатков по пп.5, 6.

В сложившейся на сегодня ситуации при решении поставленных задач необходимо учесть ряд дополнительных требований и ограничений.

Во-первых, предлагаемые технические решения должны быть доступны для освоения малыми отечественными производителями со скромными финансовыми возможностями. Отсюда следует, что на данном этапе размер крепежных резьб не должен превышать М40, а диаметр коннектора – 140 мм. При этом новые решения могут использоваться в достаточно крупных и тяжело нагруженных каркасах в сочетании с различного рода подкрепляющими элементами типа затяжек, вант и т.п.

Во-вторых, необходимо учесть новые требования, связанные с усложнением архитектурно-эстетическим задач, решаемых при создании рядовых объектов и соответствующим усложнением их габаритных схем.

2. Узловой элемент (коннектор).

2.1. Конструкция коннектора должна отвечать ряду требований:

а) обеспечивать функцию коннектора – соединение многих (до 16-ти) стержневых элементов, оси которых пересекаются в центре узла пространственного каркаса под различными углами, значения которых могут принимать, в принципе, произвольные значения в интервале от 30° до 90°, определяемые в каждом конкретном узле заданной геометрической схемой каркаса;

б) соответствовать принятому способу соединения стержня с коннектором с помощью резьбовой крепежной детали типа винта или шпильки, которая расположена соосно стержню и ввинчивается в резьбовое отверстие коннектора;

в) обеспечивать максимально возможную длину резьбы в крепежных отверстиях при заданных размерах коннектора;

г) минимизировать ресурсоемкость и себестоимость изделий, обеспечивая высокую их технологичности в условиях автоматизированного производства при рациональном уровне унификации.

Всем этим условиям наиболее полно отвечает конструкция коннектора системы „ZÜBLIN“, который отличается от классического коннектора „MERO“ (и аналогичных ему коннекторов в системах „КТ“, „КИСЛОВОДСК“ и т.п.) тем, что:

- 1) имеет единую сферическую контактную поверхность, которая наиболее технологична в массовом автоматизированном производстве, а также позволяет существенно увеличить длину резьбового отверстия при прочих равных условиях;
- 2) имеет сферическую полость, концентричную наружной поверхности, из-за чего крепежные резьбовые отверстия обрабатываются как сквозные при значительном снижении расход инструмента и повышении производительности, в частности, благодаря использованию корончатых сверл, фрез и т.п. инструментов.

2.2. Технология изготовления.

2.2.1. Получение заготовок. Если взять за основу конструкцию коннектора „ZÜBLIN“, возникает вопрос о технологии получения полый шаровой заготовки. К сожалению, все попытки выяснить подробности производства коннекторов „ZÜBLIN“ не увенчались успехом. Фирма не только свернула это производство, но и удалила из интернета все материалы на эту тему.

В России производят, главным образом, катанные помольные шары для горнорудной и цементной промышленности. Использование таких шаров в качестве заготовок для коннекторов затрудняет их высокая твердость, необходимость дополнительной термообработки. Получение прокаткой полого шара проблематично. В принципе это возможно, но технологические эксперименты на стане, который производит несколько сотен шаров в минуту - слишком дорогое удовольствие.

По-видимому, более целесообразно производство полых шаровых заготовок методом горячей штамповки. Так, совместными усилиями МГТУ «СТАНКИН» и Рязанского завода «ТЯЖПРЕССМАШ» разработан и апробирован способ штамповки стальных шаров с полостью (<http://www.findpatent.ru/patent/242/2422235.html>). Здесь формообразование мелющих шаров осуществляют из исходной заготовки, отрезанной от нагретого прутка, в три перехода: осадка, обратное выдавливание и обжим. Обратное выдавливание проводят до получения промежуточной заготовки в виде стакана с шаровидным днищем. Если диаметр стакана составляет 0.9 – 0.92 диаметра шара, его последующий обжим в полусферических матрицах происходит с хорошим их заполнением и без образования облоя. При использовании автоматического оборудования «ТЯЖПРЕССМАШ» производительность предложенного способа штамповки может достигать 70-ти шаров в минуту. К сожалению, технология «СТАНКИН» пока не нашла широкого практического применения, возможно, из-за повышенной ее сложности.

С 2009 года в Нижнем Тагиле работает предприятие «ПРОМКО» (<http://promco.ru/>), специализирующееся на производстве мелющих шаров методом штамповки. Освоены диаметры 100-140мм, в перспективе – до 160мм, что целиком перекрывает требуемый диапазон размеров коннекторов. Упомянутая возможность получения полго шара безоблойной штамповкой в простых полусферических матрицах привлекла внимание специалистов «ПРОМКО». Таким образом, теперь, в начале 13-го года в России появилась возможность наладить производство полых стальных шаров, пригодных для изготовления коннекторов типа „ZÜBLIN“.

В то же время не исключено использование катаных шаров, которые могут оказаться вполне конкурентоспособными благодаря возросшему их качеству, низкой цене, а также корректировке конструкции коннектора, например, по российскому [Патенту № 2004732](#) 1992г.

2.2.2. Механическая обработка коннектора типа „ZÜBLIN“ включает два этапа:

Обработка базовых поверхностей (базового диаметрального отверстия и сферической контактной поверхности) может быть выполнена стандартными средствами на токарном станке ЧПУ.

Выполнение резьбовых крепежных отверстий.

В настоящее время, когда строительные каркасы приобретают все более сложные очертания, оси крепежных отверстий в коннекторах могут располагаться под различными, в общем, произвольными углами.

Используя сферическую систему координат (Фиг. 1), совместим зенитную ось Z с осью базового отверстия и будем использовать экваториальную плоскость шара в качестве фундаментальной. Если на эту экваториальную плоскость спроектировать ось какого либо крепежного отверстия, ее положение определится двумя угловыми координатами:

- *зенитной*, равной углу α между самой осью и ее проекцией ($-60^\circ < \alpha < +60^\circ$) ;
- *азимутальной*, равной углу β между проекцией и произвольно выбранным радиальным лучом, лежащим в экваториальной плоскости ($0 < \beta < 360^\circ$).

Современное ЧПУ оборудование позволяет автоматически позиционировать изделие относительно инструмента в соответствии с заданными конкретными значениями α и β для каждого очередного отверстия. Например, если на платформе наклонно-поворотного стола RT160 «НААС» закрепить шаровую заготовку коннектора, ее наклоном можно автоматически задать α , а поворотом платформы - β . Однако, необходимо выполнить еще, как минимум, два условия:

- удерживать центр шара на оси инструмента;
- обеспечить достаточную жесткость закрепления заготовки, а также его прочность, которая должна превышать уровень усилий при обработке резьбовых отверстий.

Стоимость и производительность оборудования, отвечающего всем этим требованиям, зависит, в основном, от выбора одного из двух альтернативных способов нарезания резьбы: *метчиком или фрезой*.

Нарезка резьбы фрезой выполняется, как правило, на обрабатывающем центре (ОЦ), поддерживающем функцию винтовой интерполяции, при скорости резания, достигающей 300 м/мин, при частоте вращения шпинделя порядка 6 000 об/мин. Отверстие под резьбу также целесообразно фрезеровать, например, специальными фрезами САНДВИК или корончатыми фрезами при использовании полой заготовки.

Высокоскоростное фрезерование имеет два основных преимущества, по сравнению с резьбонарезанием метчиком:

- снижение усилий резания, практически, на порядок;
- измельчение стружки, облегчающее ее удаление из отверстия и тем самым повышающее стабильность процесса, стойкость инструмента.

Интересна также возможность фрезеровать одной фрезой резьбы различного диаметра, имеющие одинаковый шаг или даже различные шаги.

Снижение усилий резания дает возможность использовать для позиционирования заготовки самые легкие ЧПУ устройства типа упомянутого стола RT без каких-либо дополнительных фиксирующих средств. Установка RT на двухосевом столе ОЦ позволяет автоматически компенсировать то горизонтальное смещение центра заготовки, которое возникает при изменении угловой координаты α и тем самым автоматически удерживать центр заготовки на оси инструмента.

Если ориентироваться на использование самых легких ОЦ, таких, например, как VF-1 или VF-2 «НААС», стоимость только основных составляющих комплекта оборудования (ОЦ + RT160) составит не менее \$100 тыс., а всего комплекта – около \$150 тыс.

Длительность обработки на ОЦ одного отверстия M22 ÷ M33 составляет около 30 сек., чему соответствует 120 отверстий в час или в среднем 12 коннекторов в час.

Для малых предприятий России, которым, в первую очередь, адресован этот текст, единовременное капвложение порядка \$150 тыс. затруднительно, а с другой стороны, достигаемая производительность – чрезмерна. Это заставляет искать решения, реализуемые с использованием более доступного по цене оборудования.

Нарезка резьбы метчиком может быть выполнена на любом сверлильном станке, имеющем функцию резьбонарезания. Сам станок может быть оснащен или не оснащен ЧПУ, но на его столе должно быть установлено двухосевое ЧПУ устройство позиционирования и закрепления шаровой заготовки, подобное наклонно-поворотному столу. Это установочное устройство должно отличаться от, например, стола RT160 тем, что:

- при изменении углов α и β центр коннектора должен оставаться неподвижным;
- средства позиционирования могут быть грубее и, следовательно, дешевле;
- после установки заданных значений α и β шар должен быть достаточно жестко и прочно зафиксирован для восприятия значительных усилий резьбонарезания.

По своей схеме установочное устройство может быть построено аналогично наклонно-поворотному столу RT «НААС», который содержит наклоняемую люльку, снабженную поворотной платформой. Чтобы избежать смещений коннектора в горизонтальной плоскости и исключить управление по третьей оси, люлька должна быть настолько глубока, чтобы центр коннектора лежал на оси ее вращения.

Для наклона люльки и поворота платформы, следует использовать наиболее простые, компактные и недорогие комплектующие, например, поворотные столы RT100, RT150 „ОPTIMUM“ или компактные редукторы TRAMEC серии X (www.redservis.ru/x_tramec.html). Столы „ОPTIMUM“, обладают достаточной разрешающей способностью порядка нескольких угловых минут, однако шаговый привод, которым они комплектуются, не обеспечивает требуемой скорости поворота. При оснащении столов сервоприводом BaltSistem или Delta скорость и точность позиционирования увеличиваются в нужной мере. При этом общая стоимость двух столов с устройствами управления и программным обеспечением составляет \$ 4,5 -5 тыс. по данным ООО «Промэлектроникасервис» (www.промэлектроникасервис.рф www.itrostov.ru).

Требуемая жесткость и прочность закрепления заготовки коннектора определяется моментом резбонарезания крепежных отверстий, который для отверстий M33 может достигать 250 Нм (по данным <http://osntm.narod.ru/rezbonarez.html>). Само установочное устройство и включенное в него средство фиксации заготовки должны быть достаточно мощными. В частности, тиски, способные удерживать силами трения шар диаметром 100мм при моменте 250Нм, должны развивать усилие около 50кН. Отсюда следует, что в едином **установочном блоке** средства фиксации должны быть функционально отделены от средств позиционирования, чтобы освободить их от чрезмерных нагрузок. При этом установочный блок должен иметь габариты порядка 500x500x500, чтобы свободно размещаться на столе сверлильного станка подходящей мощности. Например, станок В 50 GSM „ОPTIMUM“ имеет стол 600x600, расстояний от шпинделя до стола 800 и способен нарезать резьбу в стали до M42. Его цена \$14 тыс.

Предварительные конструктивные проработки показали, что создание установочного блока, отвечающего всем перечисленным требованиям вполне возможно. Его суммарная стоимость, не превысит \$10 тыс., а общая стоимость основных средств мехобработки резьбовых отверстий с использованием метчика не превысит \$25 тыс.

Основное технологическое время обработки резьбового отверстия с использованием метчика не превышает времени обработки фрезой, но здесь значительно увеличивается вспомогательное время на ручную смену инструмента, изменение режимов резания, удаление стружки и т.п. операции. В результате производительность снижается в 2 ÷ 3 раза.

Таким образом, в приведенных примерах соотношение капиталоемкости и производительности говорит в пользу резбонарезания метчиком. Хотя здесь не учтены трудозатраты, качество изделий и многие другие факторы, ясно, что для небольшого предприятия технология резбонарезания метчиком более доступна и целесообразна.

3. Стержневой элемент (стержень).

Техническое решение наиболее широко применяемого стержня (базовый тип) в наибольшей мере определяет технико-экономические показатели каркаса в целом. При решении **Задачи 2** можно выделить в качестве отдельных объектов разработки два основных компонента:

- 1) бесстыковой корпус;
- 2) крепежное устройство, позволяющее механизировать свинчивание стыков каркаса.

3.1. Корпус стержня может быть достаточно эффективен при сжатии и растяжении, если он выполнен из единой тонкостенной трубчатой заготовки без стыков, например, сварных. Получение такого корпуса возможно только методами ОМД.

В разделах [7/](#), [8/](#) настоящего сайта приведены результаты наших работ в этом направлении, начатых в конце 80-х годов в институте ЦНИИЛМК.

Конструктивное решение стержня, защищенное [Патентом № 2004732](#), апробировано на предприятии «Экспостроймаш» в 90-х, но промышленного применения не получило. Главная тому причина состоит в том, что принятая технология изготовления стержня включает операцию горячей электровысадки трубчатой заготовки с предварительным активным нагревом. Автоматизированная опытная установка, специально для этого разработанная и изготовленная, оказалось в те годы слишком сложной для освоения и тиражирования.

Ситуация в промышленности с тех пор мало изменилась, но на российском рынке появилось импортное ОМД оборудование, позволяющее по-новому подойти к решению поставленной задачи. Наибольший интерес представляют восьмикулачковые гидравлические радиально обжимные прессы „FINN-POWER“. Например, пресс P32 ценою около \$30 тыс. способен выполнить около 500 обжимов в час при диаметре трубы до 87 мм. Пресс FP120 несколько дороже, но он способен выполнить в час до 3000 таких обжимов.

С помощью подобного прессы трубчатая корпусная заготовка обжимается по концам настолько, что вставленная в трубу анкерная деталь не может быть из нее свободно извлечена. Чтобы увеличить сопротивление корпуса выдергиванию анкера, обжатый участок трубы подкрепляется снаружи бандажным кольцом. Как показали проведенные эксперименты, подобное сопряжение крепежного устройства с корпусом через анкерную деталь может быть выполнено вполне равнопрочным трубе. Действительно, в испытанных образцах разрушение корпуса происходило вдали от зоны его контакта с анкером, там, где деформации обжима не более 2-3%. Это объясняется значительным упрочнением металла в процессе глубокой холодной деформации.

Проведено испытание описанной конструкции корпуса циклической нагрузкой в диапазоне от 0.2 до 0.7 разрушающей. После 1000 циклов никаких изменений в поведении образца не обнаружено, его статическая прочность осталась на уровне образцов, не подвергнутых циклическому нагружению.

3.2. Крепежное устройство, сопрягаемое с корпусом через анкерную деталь, должно содержать крепежную деталь в виде шпильки, которая одним концом ввинчивается в эту деталь, а другим концом – в коннектор. При этом холостое свинчивание крепежных резьб (до закрытия зазоров в стыке) должно выполняться без использования приводных муфт, (например, шестигранных, как в МЕРО и КТ) т.к. в этом случае свинчивание, практически, невозможно механизировать. Кроме того, для сильной затяжка стыка (до усилий близких к пределу текучести шпильки) через приводную муфту требуется размещение мощного сборочного инструмента в строго ограниченном пространстве.

Все эти затруднения удастся преодолеть, используя сочетание следующих приемов:

- по концам стержня используются крепежные устройства, различающиеся по конструкции, причем одна из анкерных деталей имеет левую, а другая - правую резьбу;
- угловые и линейные перемещения анкерных деталей относительно корпуса возможны, но в строго ограниченных пределах;
- холостое свинчивание выполняется вращением корпуса вокруг его оси;
- затяжка стыков выполняется приложением контролируемого момента к корпусу на его участках, имеющих некруговой профиль.

Предлагаемое техническое решение стержня базового типа приведено в описании изобретения к заявке, принятой патентным ведомством Германии с регистрационным **Aktenzeichen 10 2012 024 199.2.**

4. Специальные типы стержней.

Кроме рядовых стержней, каркас должен содержать специальные типы стержней, предназначенные для восприятия больших усилий. В их конструкции учитывается, прежде всего, знак этих усилий. Так, в системе «КТ» тип стержня КТ-II более всех других приспособлен для восприятия больших сжимающих усилий, а тип КТ-III - растягивающих. Особенности нагружения учтены в конструкциях КТ-II и КТ-III недостаточно полно и этот вопрос заслуживает более детального рассмотрения. При этом следует учесть, что количество стержней специальных типов в каркасе сравнительно невелико, а по весу их доля гораздо существеннее. Следовательно, вопросы экономии материала здесь более важны, чем вопросы технологичности.

4.1. «Сжатый стержень», предназначенный для восприятия сравнительно больших однозначно сжимающих усилий, конструируется из следующих соображений:

- 1) исходя из требования устойчивости, он должен иметь тонкостенный трубчатый корпус максимально возможного диаметра;
- 2) при диаметре тонкостенной трубы более 100 мм использование технологии обжима резко усложняется;
- 3) несущая способность корпуса на сжатие, практически, не уменьшается при его выполнении из нескольких состыкованных деталей;
- 4) стыковка сжатого стержня с коннектором может быть осуществлена с помощью резьбовой крепежной детали с невысокими механическими характеристиками и с небольшим предварительным натягом;
- 5) свинчивание стыков стержня с коннекторами путем вращения корпуса затруднительно при его большом диаметре и весе в несколько десятков кг.

В принципе, для сжатого стержня наиболее подходит конструктивная форма «МЕРО», как наиболее простая и наименее материалоемкая. Технологию соединения деталей корпуса для «сжатого стержня» типа «МЕРО» можно значительно упростить, используя стыковую контактную сварку вместо дуговой.

4.2. «Растянутый стержень», предназначенный для восприятия сравнительно больших однозначно растягивающих усилий, конструируется, исходя из следующих положений:

- 1) корпус должен иметь предельно простой и компактный профиль, т.е. круговой;
- 2) прочность крепежного устройства и его сопряжения с корпусом должна быть не меньше прочности исходного профиля корпуса на растяжение;
- 3) конструкция крепежных устройств должна обеспечивать затяжку стыков до усилий, превышающих прилагаемое к стержню усилие;
- 4) при воспринимаемом усилии до 500 ÷ 600 кН и диаметре корпуса до 50 ÷ 60 мм возможно свинчивание и затяжка стыков путем вращения корпуса.

Стержни «КТ-III» отвечают перечисленным требованиям лишь частично. Их корпуса выполняются из круга и имеют торцевые резьбовые отверстия, в которые ввинчены крепежные агрегаты, например, «КТ-I». Такое сопряжение крепежного агрегата с корпусом нарушает условие 1). В случае выполнения корпуса из толстостенной трубы его материал используется несколько лучше, но при этом цена металла возрастает приблизительно вдвое.

Крепежный узел сопрягается с корпусом достаточно просто и экономично через муфту, надетую на его конец. Достаточно прочное (по п.2) соединение муфты с круговым профилем корпуса может быть выполнено, например, фланговыми сварными швами в продольных пазах муфты, либо обжимом муфты вокруг прутка периодического профиля. Если снабдить муфты внутренними резьбами и рассматривать их, как своеобразные «анкерные» детали, крепежные устройства стержня могут быть выполнены так же, как в «рядовом стержне» с использованием приемов, описанных в п.3.2.

Крепежные устройства можно сильно упростить, когда пояс конструкции состоит из нескольких соосно расположенных «растянутых стержней». В этом случае крепежное устройство выполняется в виде шпильки, пронизывающей коннектор, а резьбовые муфты смежных стержней пояса навинчиваются на шпильку по обе стороны коннектора.

5. Нетиповые конструктивные элементы.

Кроме типовых элементов, в каркасе, как правило, используются и нетиповые:

- стержни, воспринимающие значительные неоднозначные усилия
- стержни, которые обладают специфическими механическими свойствами, такие, например, как стержень типа «КТ-FLD», способный при сжатии испытывать значительные продольные пластические деформации без потери устойчивости;
- коннекторы, приспособленные, например, для восприятия реакций в опорных узлах
- или для сопряжения с вантами или затяжками, поддерживающими каркас.

Так или иначе, количество нетиповых элементов в реальном каркасе невелико, технико - экономические показатели каждой конструктивной системы «КК» определяется типовыми решениями элементов.

ЛИТЕРАТУРА.

1. **Raumfachwerke für große Spannweiten.**

Knebel, Klaus; Wahl, Michael; Maloblocki, Martin.

Quelle: Baustatik-Baupraxis 10. Berichte der Fachtagung am 17. und 18. März 2008 in Karlsruhe. Univ. Karlsruhe, Institut für Baustatik (Herausgeber).

2. **The KT space truss system.**

K. Imai, T. Morita, Y. Yamaoka, K. Wakiyama and S. Tsujioka

Source: SPACE STRUCTURES 4 . Volume 2. page 1374.

The papers presented at the Fourth International Conference on Space Structures at the University of Surrey, Guildford. Thomas Telford, London