

УДК 622.69

**АНАЛИЗ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ МОДУЛЬНЫХ
СБОРНО-РАЗБОРНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**ANALYSIS OF NODES
IN DEMOUNTABLE MODULAR SPACE STRUCTURES**

Окаб А.К.

**ФГБОУ ВПО « Уфимский государственный нефтяной технический
университет» г. Уфа, Российская Федерация, г. Ди Кар, Ирак**

A.K. Okab

FSBEI HPE “Ufa State Petroleum Technological University”

Ufa, the Russian Federation, Dhi Qar Iraq

e-mail: abdullah_alumary@mail.ru

Аннотация. Статья содержит общий анализ различных типов узлов, используемых в космических конструкциях, а также различных видов разъемов, которые являются ключевыми элементами, определяющими коммерческую эффективность любой сборки. Все основные запатентованные системы связи были классифицированы и описаны уже ранее.

Трехмерные конструкции, как правило, представляют собой систему, состоящую из простых деталей стандартной формы и размера. Однако, выбор размеров, формы, толщины, материала для изготовления деталей, а также способ их соединения, не является универсальным и во многом зависит от требований, предъявляемых к конкретному сооружению.

Среди достоинств систем, основанных на сферических узловых элементах и осе-болтовых соединениях без использования сварки при монтаже, можно отметить универсальность применения, компактность узловых элементов, легкость сборки и установки, возможность

многократного монтажа и разборки и эстетичный внешний вид. Наиболее существенным недостатком сферических узлов является жесткое требование к допускам длин стержней.

Исследование конструкций по всему миру показывает, что существует более 250 различных типов узловых систем, предложенных или применяемых на практике. Около 50 коммерческих фирм предпринимают попытки специализироваться в изготовлении патентованных узловых систем для пространственных решеток. Многие узловые системы не подтвердили свою эффективность, в основном, из-за сложности метода соединения.

Сравнительный анализ различных типов разъемов показал, что система Меро оказался теоретически наиболее эффективным для изготовления крыш вертикальных цилиндрических стальных нефтяных резервуаров, из-за отсутствия швов и легко сборки.

Abstract. The present article contains a general analysis of various types of nodes used in space constructions, as well as different types of connectors, which are the key elements determining commercial effectiveness of any assemblage. All the main patented connection systems were classified and described in charts.

Among more than 250 types of node systems proposed many are not efficient mainly due to their far too complicated method of connection. The conclusion was made that node systems with solid parts are far more efficient economically, as they consume less material and are easier to manufacture. Moreover, their reliability is high due to absence of weak spots like uneven welds. However, these systems are hard to modify and assemble.

In contrast to spherical connectors, node systems with space joint plates admit more deviations in the length of bars and are easy to assemble.

Welded connections have many disadvantages, as compared to bolted connections. For instance, they require more assembling work, more accuracy in adjustment of angle and the length of bars etc. However, their significant

advantage is the ability to connect any number of elements at any angle. Systems without a connector are only efficient in cases when estimated loads are light. Although the constructions do not require much metal, they still require the minimal faults and thorough adjustment in manufacturing.

The comparative analysis of various types of connectors revealed that the Mero system proved to be theoretically the most efficient type for manufacturing roofs of vertical cylindrical steel oil tanks, due to absence of welds and easy assemblage. However, in this paper the welded disc is recommended for this purpose, since it is the optimal low-cost variant which makes it possible to connect rods of different size and form and to alter the number of bolts used for connecting. Moreover, it is easy to manufacture and assemble.

Ключевые слова: система Меро, нефтяные резервуары, пространственные решетки, осе-болтовые соединения, трехмерные конструкции, узловые соединения

Key words: Mero, oil tanks, spatial lattice, wasp-bolt connections, three-dimensional structure, the nodal connections

Пространственные конструкции за последние десятилетия прочно вошли в применение в сфере строительства и официально признаны подходящими для многих конструкционных решений. Непрерывающийся рост популярности пространственных конструкций связан со многими факторами, в первую очередь это сочетание удобства производства и сборки, не требующей высокой квалификации сборщиков, и гармоничный внешний вид подобных конструкций, что делает трехмерные структуры более конкурентоспособными по сравнению с классическими конструкциями. Большое количество прочных, эффективных и рентабельных сооружений, построенных с применением данной технологии, служит этому доказательством. Трехмерные конструкции, как правило, представляют собой систему, состоящую из простых деталей стандартной

формы и размера. Однако, выбор размеров, формы, толщины, материала для изготовления деталей, а также способ их соединения, не является универсальным и во многом зависит от требований, предъявляемых к конкретному сооружению.

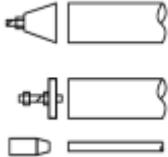
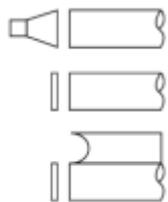
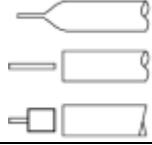
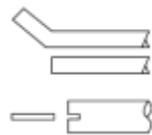
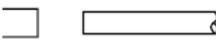
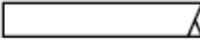
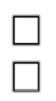
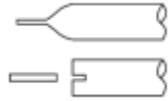
Цель работы – разработка рекомендаций при выборе узловых соединений для резервуаров вертикальных стальных (РВС).

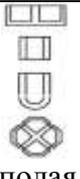
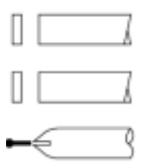
Типы соединений трехмерных конструкций

Трехмерные конструкции состоят из стержневых элементов и узлов, и классифицировать их по способу соединения стержней между собой можно на разъёмные (на осевых или срезных болтах, с перфорированными, клиновидными и другими захватами) и неразъёмные (требующие сварки). Более популярны в мировой строительной практике конструкции с разъёмными соединениями, значительно превосходящие сварные по таким показателям, как простота сборки на строительной площадке, простота изготовления и транспортировки, а также высокие технико-экономические показатели в целом.

Ключевым моментом проектирования узла является решение узлового соединения, поскольку узел представляет собой точку сопряжения стержневых элементов, различных по количеству и углу сопряжения; ключевым моментом, определяющим коммерческую эффективность любой сборки, также является «коннектор» (т.е. элемент сопряжения) [1]. Соединительные элементы решеток более важны, чем стандартные конфигурации каркаса, поскольку в одной точке встречаются больше элементов (таблица 1). Следовательно, элементы должны быть размещены в трехмерном пространстве. Таким образом, действует более сложный механизм распределения усилий. Роль соединений в пространственной конструкции настолько велика, что большинство коммерчески успешных пространственных систем используют патентованные системы соединений.

Таблица 1. Типы соединений с узлом

Узел	Коннектор	Стержень	сечение	примеры
сфера	цельная 			*MeroKK, Германия; Montal, Германия; Uzaу, Италия; Zublin, Германия *Steve Baer, США; Van Tiel, Нидерланды; пространственная ферма КТ, Япония *MeroMT, Германия
	полая 			*Spherobat, Франция *пространственные фермы NS, Япония; Tubal, Нидерланды; Orbik, Великобритания *пространственные фермы NS, Япония; Tubal, Нидерланды; Orbik, Великобритания
	полая 			SDC, Франция
	полая 			Oktaplatta, Германия WHSJ, Китай
	полая 			Vestrut, Италия
цилиндр	цельный 			Triodetic, Канада; Nameless, Восточная Германия
	полый 			*Octatube Plus, Нидерланды; Nameless, Сингапур *Pieter Huybers, Нидерланды *Nameless, Великобритания
диск	плоский 			*Palc, Испания *Power strut, США *Pieter Huybers, Нидерланды
				Tridimatec, Франция
				Moduspan (Unistrut), США; Сиситема VI (Unistrut), США
	сварной 			Boyd Auger, США; Octatube, Нидерланды Piramodul, Нидерланды
				Nodus, США

Узел	Коннектор	Стержень	сечение	примеры
призма	 цельная			Montal, Германия MeroBK, Германия
	 полая			*Mero TK and ZK, Германия *Mero NK, Германия *Satterwhite, США

Профессор строительного факультета в Лондоне З.С. Маковски, [2] классифицировал около 250 различных типов узловых элементов. Однако, упорядочить все существующие узлы можно по их основным функциям:

- целевой узел, т.е. узел, сконструированный с какой-то конкретной целью, для конкретного строительного объекта;
- запатентованный узел, легко поддающийся тиражированию и используемый в индустриальных системах строительства.

Значительное количество аналогичных друг другу "целевых узлов", которые разрабатываются для одноразовых проектов, во многом обусловлено политикой отказа от использования уже испытанных запатентованных систем, поскольку пользование патентом с финансовой точки зрения менее выгодно. Однако, целевые узлы неизбежны в конструкциях с нестандартно большими либо малыми пролетами из-за возникновения целого ряда ограничений, исключающих применение большинства стандартных запатентованных узлов. Если пролет нестандартно мал, то может иметь значение количество предполагаемых опор, однако, прочность узлов не является значимой. Если же пролет нестандартно велик, то стандартные системы вовсе непригодны; они могут оказаться недостаточно прочными, поскольку большинство из них из коммерческих соображений рассчитаны только на средние нагрузки. Некоторые наиболее эффективные патентованные соединительные системы перечислены в таблице 4. Все технологии соединения могут быть разделены на три основные группы: с узлом (таблица 1), без узла (таблица 2) и со сборными блоками (таблица 3).

Таблица 2. Типы соединений без узла

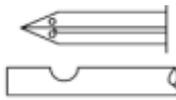
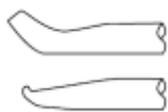
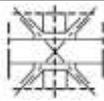
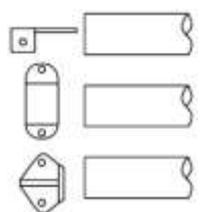
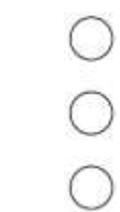
узлы	соединение	Элемент	сечение	примеры
Форма элемента	штамповка			Buckminster Fuller Nonadome, Нидерланды
	Сплющивание и изгиб			Radial, Австралия Harley, Австралия
Добавочный элемент	пластинка			Mai Sky, США
	Конец элемента			Pieter Huybers, Нидерланды Pierce, США Buckminster Fuller

Таблица 3. Типы соединений со сборными деталями

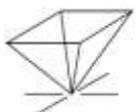
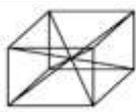
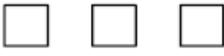
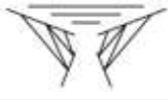
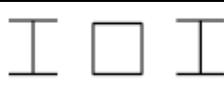
Узел	сборная деталь	Поперечное сечение детали верх/ связь/ низ	пример
Геометрический цельный			Space deck, Великобритания Mero DE, Германия Unistrut, Франция
			Система без имени, Италия
2D компоненты			Ruter, Германия
			Система без имени, Италия
3D компоненты			Cubic, Великобритания

Таблица 4. Широко используемые патентованные системы

Название	страна	Период разработки	материал	соединение
MERO	Германия	1940–1950	Сталь алюминий	болтовое крепление
Spacedeck	США	1950–1960	сталь	Болтовое крепление
Triodetic	Канада	1950–1960	Сталь алюминий	Вставка элементов во втулку
Unistrut (Moduspan)	США	1950–1960	Сталь	Болтовое крепление
Oktaplatte	Германия	1950–1960	Сталь	сварка
Unibat	Франция	1960–1970	Сталь	Болтовое крепление
Nodus	Великобритания	1960–1970	Сталь	болтовое крепление с использованием штифтов
NS	Япония	1970–1980	Сталь	Болтовое крепление

Среди достоинств систем, основанных на сферических узловых элементах и осе-болтовых соединениях без использования сварки при монтаже, можно отметить универсальность применения, компактность узловых элементов, легкость сборки и установки, возможность многократного монтажа и разборки и эстетичный внешний вид. Наиболее существенным недостатком сферических узлов является жесткое требование к допускам длин стержней. В рабочем состоянии конструкции при возникновении зазора между коннектором и муфтой возникает непредусмотренное напряжение в сжатых элементах, влияющие на характер усилий, вплоть до выключения стержней и перераспределения усилий [1].

Исследование конструкций по всему миру показывает, что существует более 250 различных типов узловых систем, предложенных или применяемых на практике, и около 50 коммерческих фирм предпринимают попытки специализироваться в изготовлении патентованных узловых

систем для пространственных решеток. Многие узловые системы не подтвердили свою эффективность[5], в основном, из-за сложности метода соединения.

Выводы

В результате сравнительного анализа различных видов узловых систем выявлено:

С экономической точки зрения наиболее выгодными считаются узловые системы с цельными деталями, поскольку они являются менее материалоемкими и состоят из стандартных однотипных элементов, простых в изготовлении. Кроме того, они более надежны благодаря отсутствию ослаблений в виде сварных швов. При этом, данные системы плохо поддаются модификации и предполагают только стандартные формы и размеры. Монтаж данных конструкций относительно сложен.

Сварные соединения проигрывают болтовым по таким показателям, как объем монтажных работ, трудоемкость выверки углов, неразборность, жесткие требования к длинам стержней, ослабления в виде сварного шва и пр. Возможность соединения элементов в разном количестве под любым углом можно обозначить в качестве единственного значимого преимущества.

Соединения без использования дополнительного коннектора выгодны только при небольших нагрузках. Несмотря на низкую металлоемкость, они требуют минимум погрешностей и тщательной выверки при изготовлении.

Наиболее подходящей узловой системой для изготовления крыш РВС является система Меро, благодаря отсутствию сварных элементов и возможности быстрой сборки. Однако, система не рекомендуется Меро, поскольку ввиду особой специфики изготовления с использованием высокой температуры и давления, узлы данной системы требуют наличия

специального дорогостоящего оборудования, что сказывается на стоимости готового изделия.

В качестве основной рекомендации при выборе узловых соединений для крыш РВС можно обозначить выбор в пользу сварного диска, поскольку сварной диск является оптимальным бюджетным вариантом, позволяет соединять стержни разного диаметра и формы сечения, а также он прост в изготовлении и позволяет варьировать количество болтов, которые соединяют стержни в узлах конструкции.

Список используемых источников

1 Анализ существующих узлов сопряжения пространственных конструкций и разработка сборно-разборного узлового элемента / И.С. Инжутов, [и др.] // Вестник МГСУ. 2013. № 3. С. 61–71.

2 Makowski Z.S. Development of jointing systems for modular prefabricated steel space structures // Proceedings of the international symposium. Warsaw, Poland, 2002. Pp. 17–41.

3 Gerrits, J.M. 1996. The architectural impact of space frame systems. // Proceedings of Asia-Pacific Conference on Shell and Spatial Structures 1996. China Civil Engineering Society, Beijing.

4 Ramaswamy G.S., Eekhout M., Suresh G.R. Steel space frames, analysis, design and construction // Produced by Thomas Felford Publishing. London, 2002.

5 Chilton J. Space Grid Structures // Produced by Plant a tree. Great Britain, 2000.

References

1 Analiz sushhestvujushhih uzlov soprjazhenija prostranstvennyh konstrukcij i razrabotka sborno-razbornogo uzlovogo jelementa / I.S. Inzhutov, [i dr.] // Vestnik MGSU. 2013. № 3. S. 61–71.

2 Makowski Z.S. Development of jointing systems for modular prefabricated steel space structures // Proceedings of the international symposium. Warsaw, Poland, 2002. Pp. 17–41.

3 Gerrits, J.M. 1996. The architectural impact of space frame systems. // Proceedings of Asia-Pacific Conference on Shell and Spatial Structures 1996. China Civil Engineering Society, Beijing.

4 Ramaswamy G.S., Eekhout M., Suresh G.R. Steel space frames, analysis, design and construction // Produced by Thomas Felford Publishing. London, 2002.

5 Chilton J. Space Grid Structures // Produced by Plant a tree. Great Britain, 2000.

Сведения об авторах

About the authors

Окаб А.К., аспирант кафедры «Сооружение и ремонт газонефтепроводов и газонефтехранилищ» ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация; университет, г. Ди Кар, Ирак

A.K. Okab, Post-graduate Student of the Chair “Construction and Maintenance of Oil and Gas Pipelines and Storage Tanks”, FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation; Iraq, Dhi Qar University

e-mail: abdullah_alumary@mail.ru