

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации  
Кафедра № 24 - «Авиационной техники»

# Разработка стапеля для ручной сборки фермы в открытом космосе

Санкт-  
Петербург  
2011



Рис. The International Space Station (ISS)

Одним из магистральных путей освоения космического пространства является создание и использование крупногабаритных космических конструкций (ККК) из ферменных балок, в свою очередь составленных из аналогичных по конструкции ферменных кубических элементов со стороной квадрата 5 метров. Одним из первых прообразов таких ККК стала **International Space Station (ISS)** - **Международная орбитальная станция**, которая функционирует и наращивается в настоящее

Созданию ISS – Международной орбитальной станции - предшествовало ряд опытно-конструкторских и монтажно-сборочных экспериментов в нашей стране и за рубежом.



Эксперимента ACCESS – Assembly Concept for Construction of Erectable Space Structure – был подготовлен научно-исследовательским центром (НИЦ) имени Лэнгли - LRC (Langley Research Center).



Рис. Langley Research Center – вид одного из городков

В задачу эксперимента ACCESS входило: оценить качественно эффективность процесса сборки ферменной конструкции и получить количественные показатели этой эффективности для сопоставления с имеющимися данными по выполнению аналогичных операций в бассейнах гидроневесомости, набрать опыт выполнения сборочных работ, получить общую оценку целесообразности использования космонавтов как космических монтажников и на этой основе оценить в целом перспективность данного подхода к созданию, обслуживанию и ремонту ККК по программе ОКС Space Station.

Оборудование, необходимое для проведения сборок в рамках эксперимента ACCESS состояло из следующих частей:

- ❖ элементы собираемой фермы,
- ❖ элементы стапеля и
- ❖ рабочие места



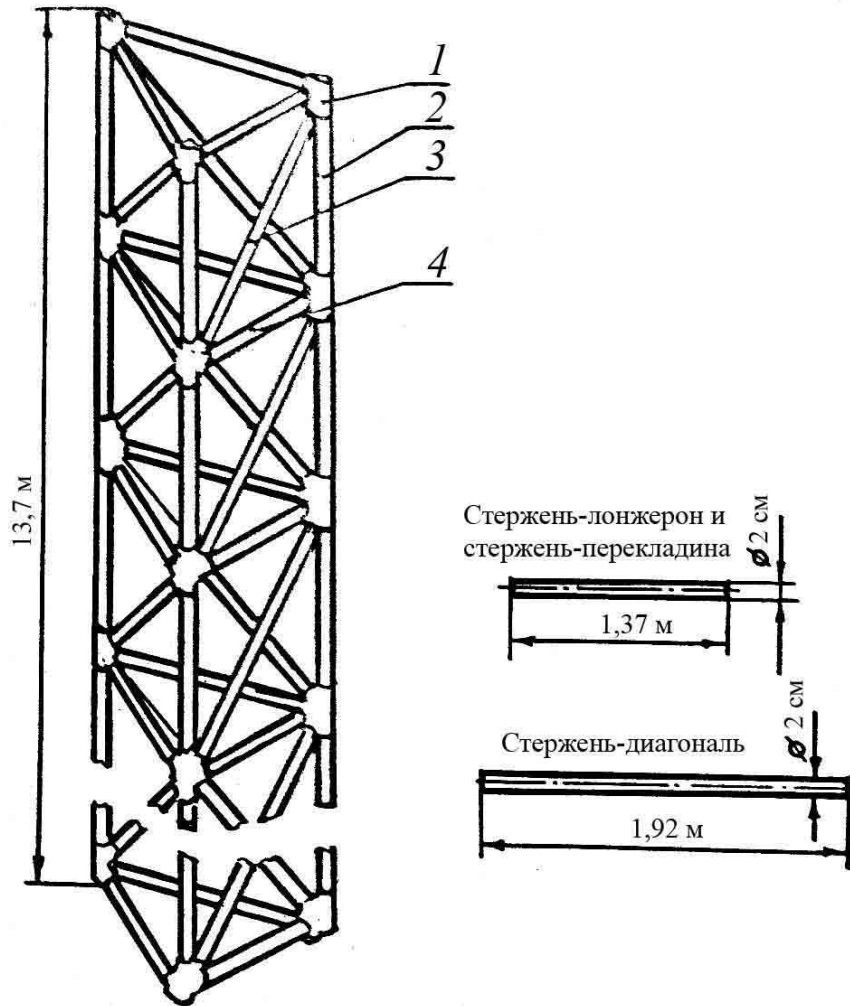


Рис. Ферма эксперимента ACCESS:

1 – узловое соединительное устройство (УСУ); 2 – стержень-лонжерон (СЛ); 3 – стержень-диагональ (СД); 4 – стержень-перекладина (СП)

## Элементы фермы

включали:

- продольные стержни (лонжероны),
- поперечные стержни (перекладины),
- диагональные стержни и
- узловые соединительные устройства.

Все стержни представляли собой трубки из алюминиевого сплава диаметром 2,5 см, покрытые пластиком (материал Каптон) и выкрашенные в **ЗОЛОТИСТЫЙ ЦВЕТ**.

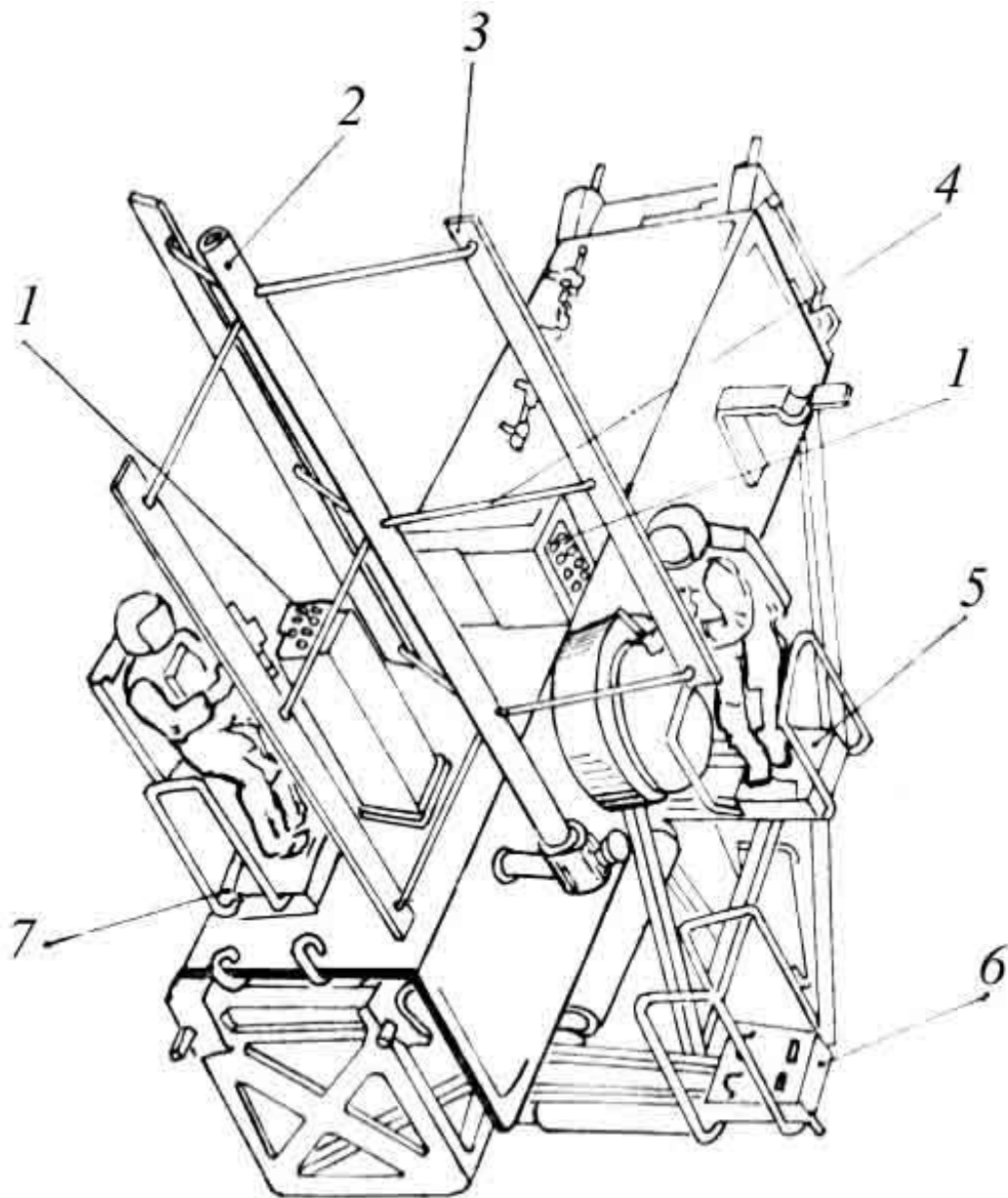


Длина лонжеронов и перекладин 1,37 м, диагональных стержней – 1,92 см.

Всего было предусмотрено 93 стержня, из них 60 коротких и 33 длинных.

Соединительные устройства (все одинаковые) представляли собой втулки с 6-ю пружинными замками и позволяли выполнять операции соединения стержней в узлах фермы одной рукой, а также обеспечивали автоматическую фиксацию (защелкивание) в определенных местах стапеля.

Рис. Ферма эксперимента ACCESS - фото



## Элементы стапеля

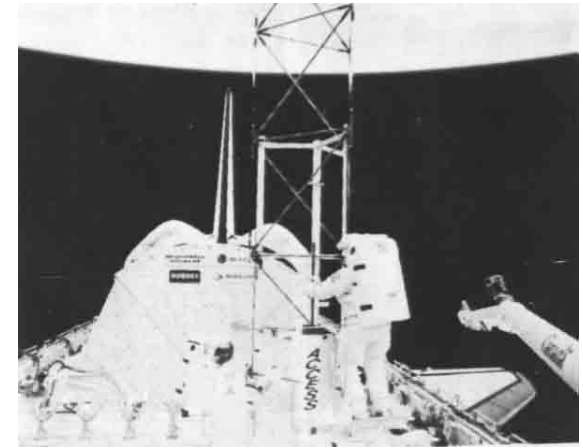
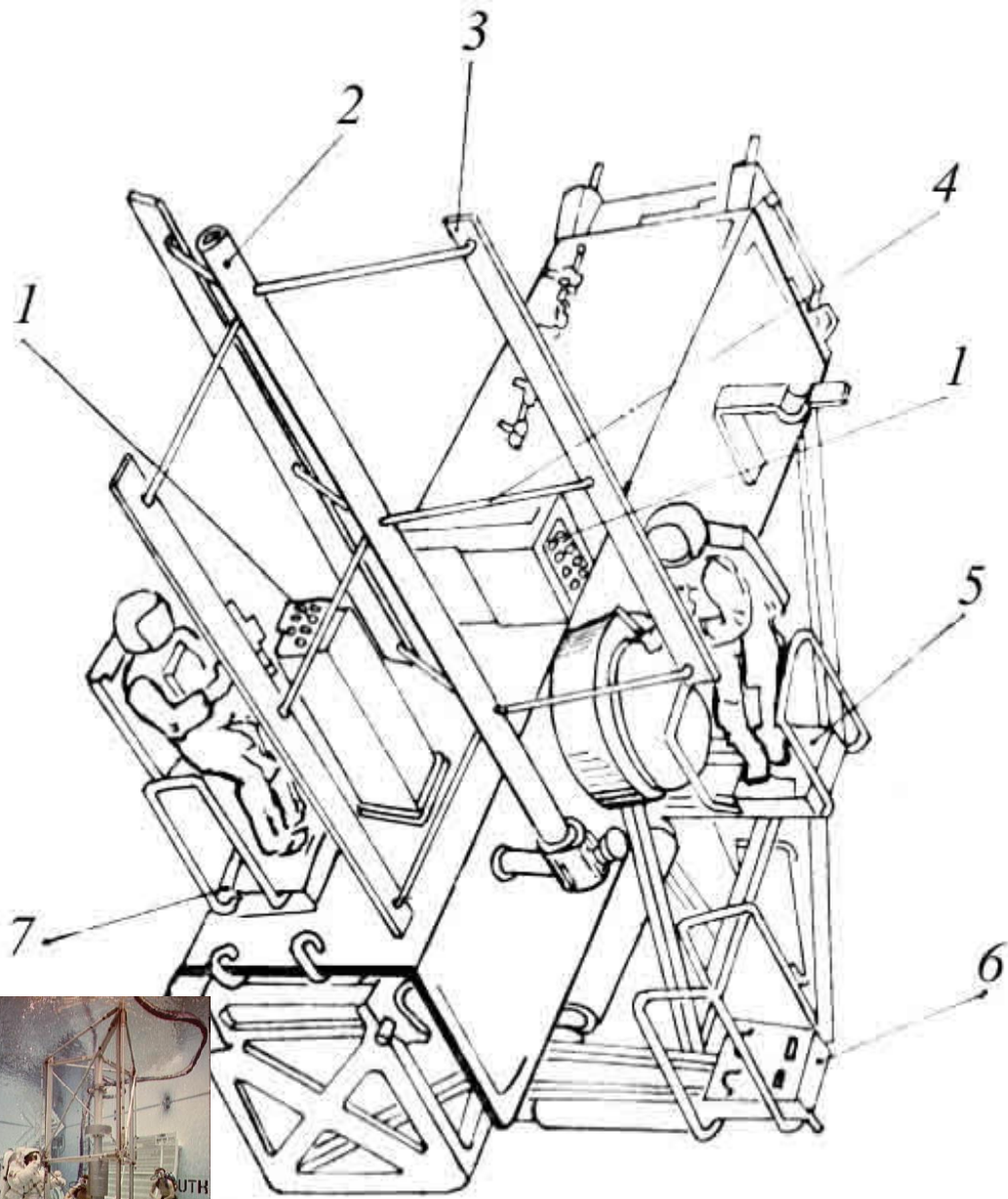
включали центральную трубчатую мачту 2, три раздвижных направляющих 3, девять реек 4, обеспечивающих крепление направляющих к мачте, а также

свертывание и развертывание стапеля.

Рис. Приспособление для сборки ферменной конструкции ACCESS из стержневых элементов - Mission Peculiar Equipment Support Structure (MPSS):

1 – жестяная коробка со стержнями; 2 – центральная вертикальная трубчатая мачта; 3 – три раздвижные направляющие; 4 – рейки в количестве девяти штук; 5 – нижнее рабочее место; 6 – корпус укладки; 7 – верхнее рабочее место

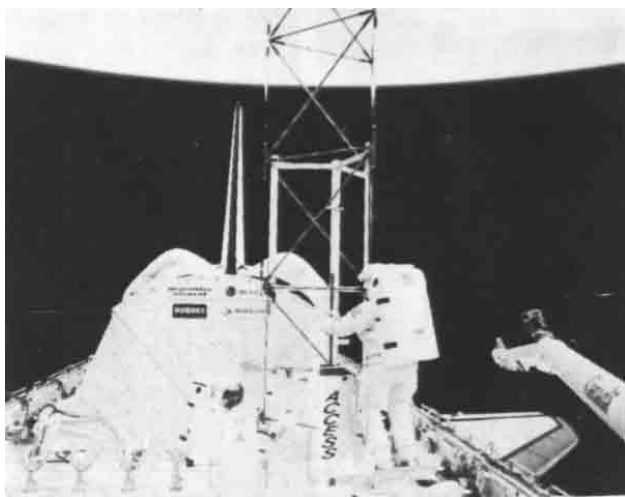
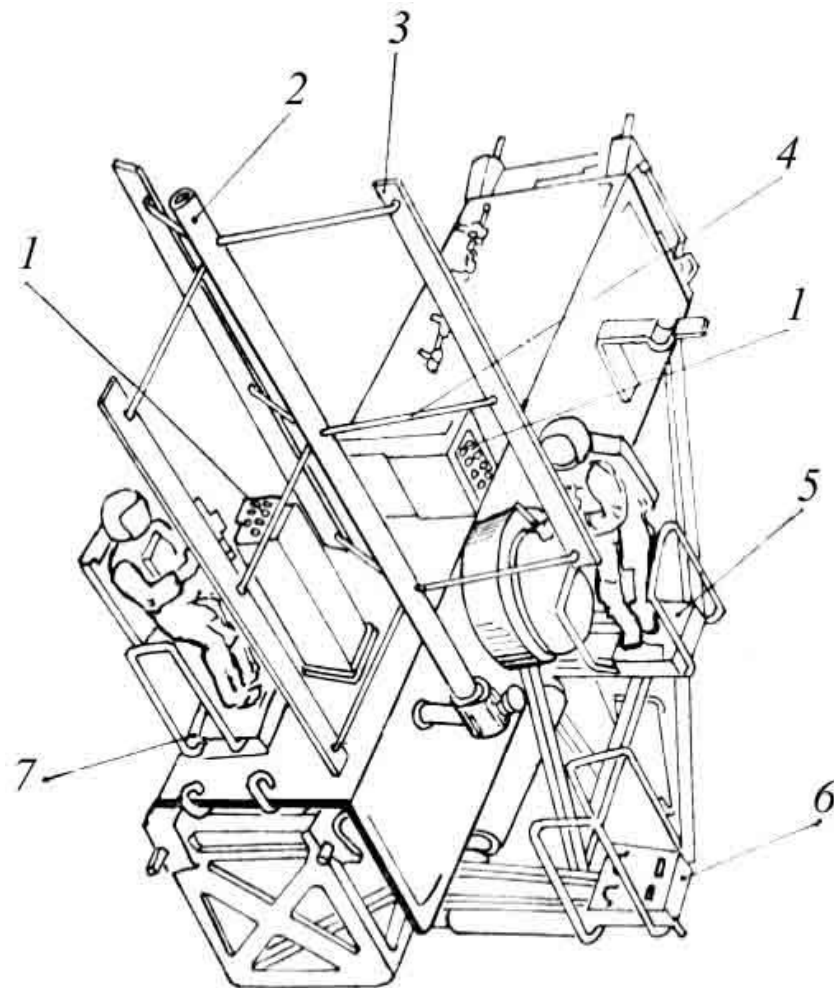




**Рис. Приспособление для сборки ферменной конструкции ACCESS из стержневых элементов - Mission Peculiar Equipment Support Structure (MPESS):**

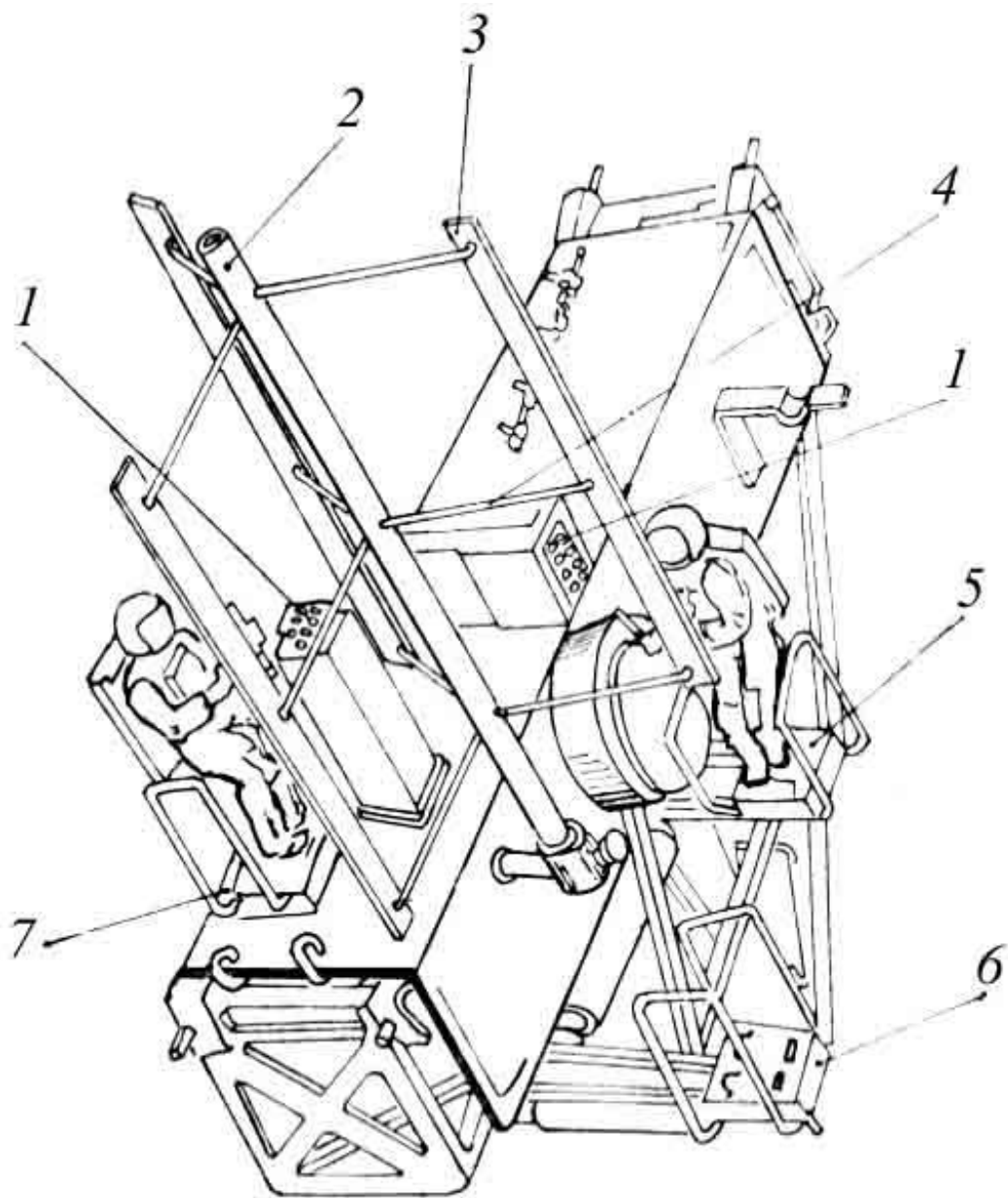
1 – жестяная коробка со стержнями; 2 – центральная вертикальная трубчатая мачта; 3 – три раздвижные направляющие; 4 – рейки в количестве девяти штук; 5 – нижнее рабочее место; 6 – корпус укладки; 7 – верхнее рабочее место





**Рис. Приспособление для сборки ферменной конструкции ACCESS из стержневых элементов - Mission Peculiar Equipment Support Structure (MPRESS):**

1 – жестяная коробка со стержнями; 2 – центральная вертикальная трубчатая мачта; 3 – три раздвижные направляющие; 4 – рейки в количестве девяти штук; 5 – нижнее рабочее место; 6 – корпус укладки; 7 – верхнее рабочее место



Сборка фермы на 1-ом этапе эксперимента осуществлялась двумя космонавтами с рабочих мест №1 («верхнее», лицом к мачте) и №2 («нижнее», мачта справа) на корпусе укладки МРЕСС. Оба этих рабочих места обеспечивали непосредственный доступ к пеналам с трубчатыми стержнями 1 и соединительными устройствами.



Ферма собиралась  
посекционно.  
Каждая секция их 3-х  
квадратных рам с  
диагональным  
стержнем и  
образовывала  
прямую трехгранную  
призму.

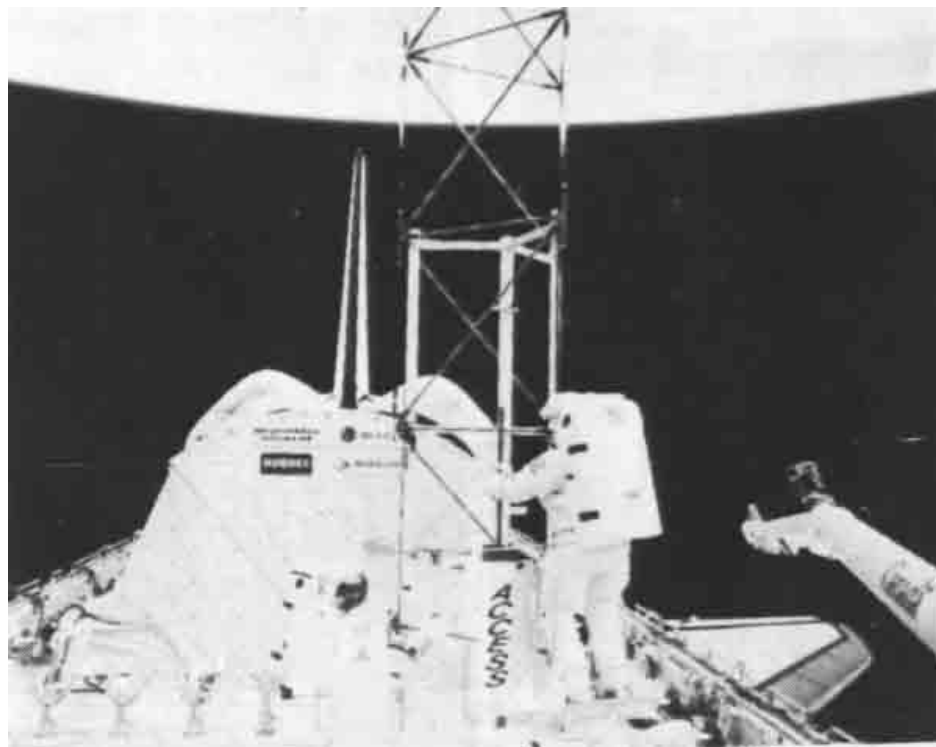
**Рис. Выполнение  
операций сборки  
ферменной конструкции  
ACCESS при тренировке в  
бассейне  
гидроневесомости**



Космонавт на «нижнем» рабочем месте выполнял все соединения внизу собираемой секции; космонавт на «верхнем» рабочем месте – все верхние соединения. Объем работ на «нижнем» рабочем месте оценивался в 70% от всего объема работ, на «верхнем» – в 30%. В ходе выполнения как верхних, так и нижних соединений стапель мог поворачиваться вокруг оси мачты.

**Рис. Выполнение операций сборки ферменной конструкции ACCESS при тренировке в бассейне гидроневесомости**

Закончив сборку 1-й секции, космонавты сдвигали секцию по стапелю вверх до автоматического защелкивания замков (высота стапеля равна высоте 2-х секций). Затем проводилась сборка 2-й секции, верхние перекладины которой являлись одновременно нижними перекладинами 1-й секции. Таким образом, для 2-й секции и каждой последующей секции оставалось домонтировать лонжероны, диагонали и нижние перекладины – по одной из квадратных рам. После сборки 2-й секции вся собранная часть фермы сдвигалась на шаг вверх и т. д. – до завершения сборки всех 10 секций, составляющих ферму.



**Рис. Выполнение операций сборки ферменной конструкции ACCESS в открытом космосе**

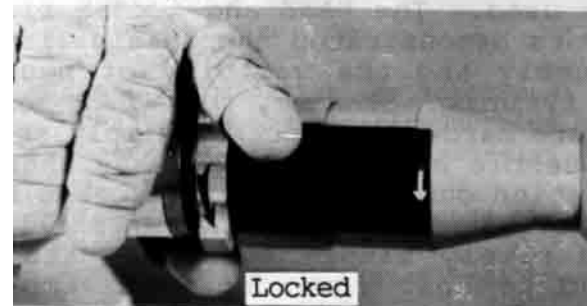
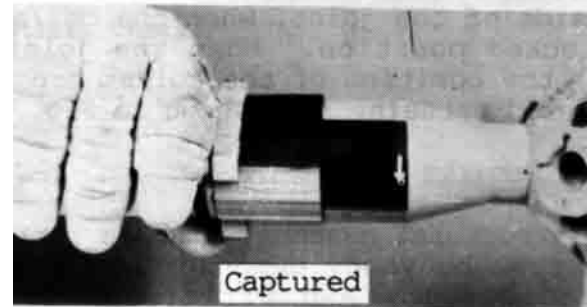
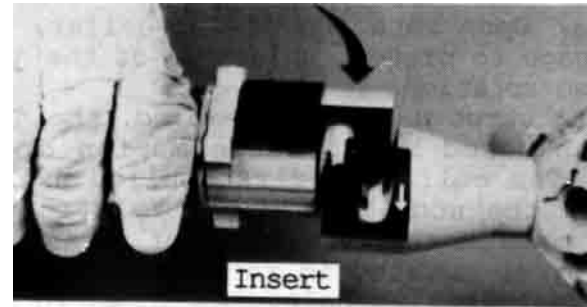
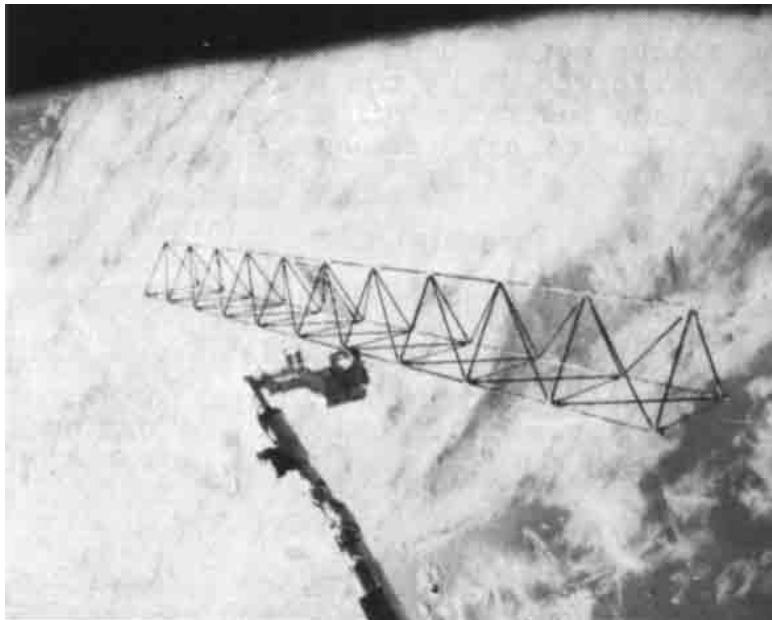
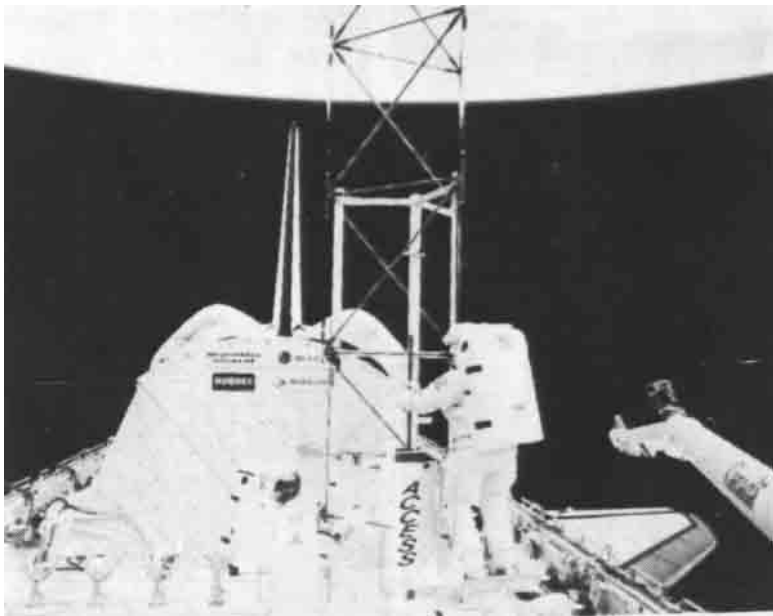


Рис. Сборка в космосе ферменной конструкции американскими специалистами в ноябре 1985 года – эксперимент Assembly Concept for Construction of Erectable Space Structure (ACCESS) и схема действия узлового соединительного устройства



Второй  
(дополнительный)  
этап эксперимента  
ACCESS выполнялся  
только во время 2-го  
выхода в открытый  
космос. При этом  
использовалось  
рабочее место №4 на  
бортовом  
манипуляторе.

Рис. Сборка в космосе  
ферменной конструкции  
американскими специалистами  
в ноябре 1985 года –  
эксперимент Assembly Concept for  
Construction of Erectable Space  
Structure (ACCESS) и схема  
действия узлового  
соединительного устройства



Второй (дополнительный) этап эксперимента включал следующие основные операции:



- сборка верхней секции фермы,
- прокладка троса, имитирующего кабель, вдоль фермы,
- замена одного стержня и одного соединительного устройства во внутренней секции для имитации ремонта,
- отделение фермы от стапеля, манипулирование ею и установка обратно на стапель.







Sherwood Spring



Gerry Ross

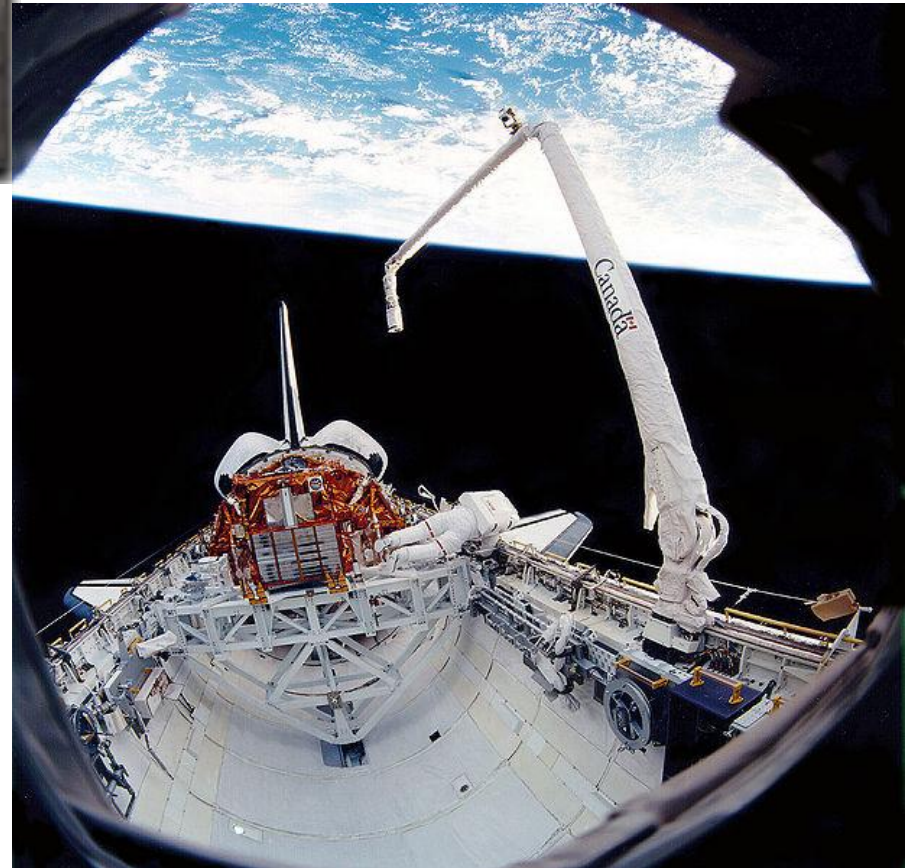


Mary Cleave

Эксперимент выполняли космонавты Gerry Ross и Sherwood Spring при участии женщины-космонавта Mary Cleave , которая управляла бортовым манипулятором.



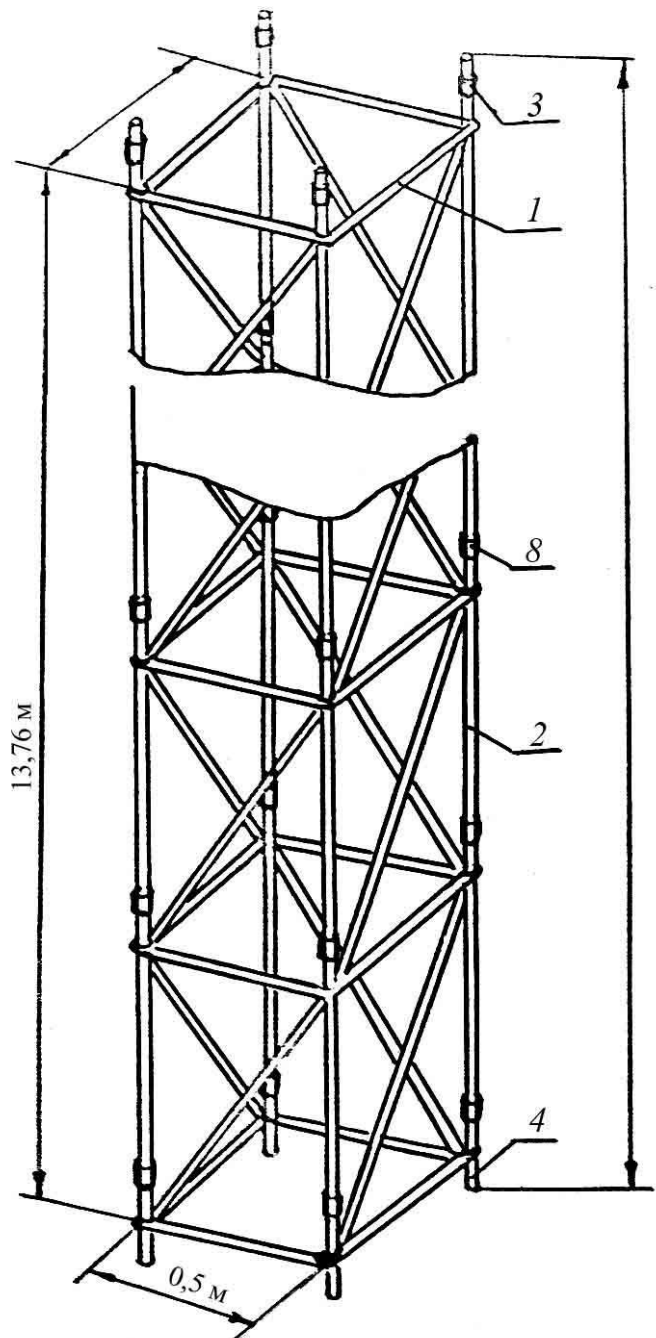
**Рис. Манипулятор –  
Manipulator –  
RMS (Remote Manipulator System)**





**Рис. Манипулятор –  
SSRMS (Space Station Remote  
Manipulator System)**





Ферма эксперимента

**СОФОРА** состоит из унифицированных элементов четырех типов:

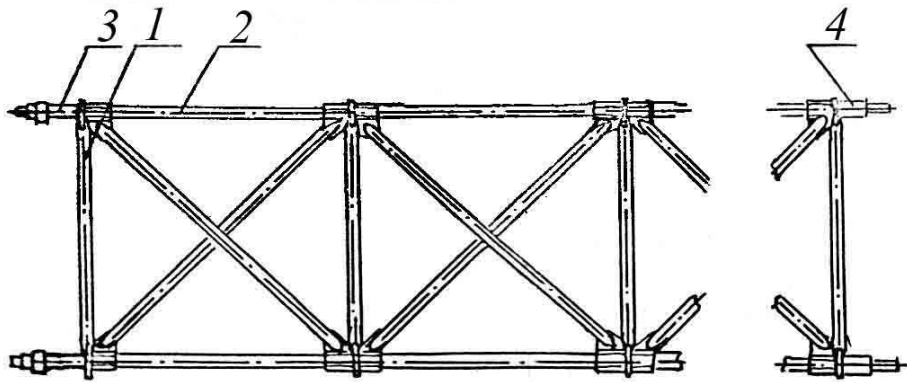
У-образных продольных элементов 2 в количестве 80 штук, которые можно транспортировать, уложенными в контейнеры; поперечные диафрагмы в количестве 21 штуки и два

типа наконечников 3 и 4 (по 4

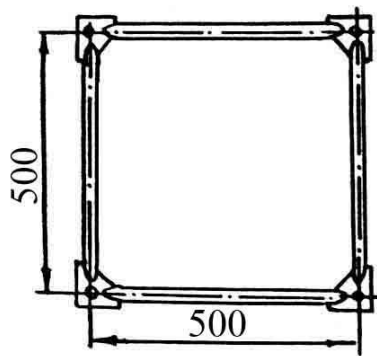
Рис. Ферма эксперимента СОФОРА:

1 – поперечная диафрагма; 2 – У-образный элемент; 3 – наконечник 1-го типа; 4 – наконечник 2-го типа; 8 – муфта титано-никелевая

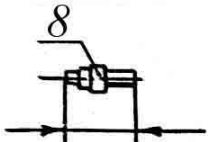




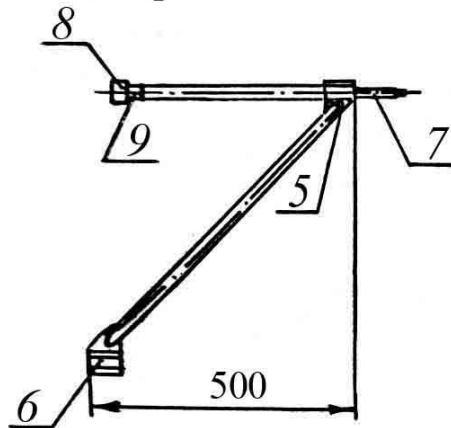
Поперечная диафрагма



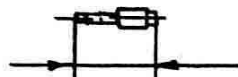
Наконечник 1-го типа



У-образный элемент



Наконечник 2-го типа



Диафрагма 1 – плоская сварная конструкция квадратной конфигурации, состоящая из 4-х стержней, соединенных фиттингами. В фиттингах имеется отверстие под цилиндрический хвостовик 7.

Рис. Ферма эксперимента СОФОРА:

1 – поперечная диафрагма; 2 – У-образный элемент; 3 – наконечник 1-го типа; 4 – наконечник 2-го типа; 5 – узловой фиттинг У-образного элемента; 6 – наконечник У-образного элемента с проходным отверстием; 7 – наконечник У-образного элемента в виде штыря; 8 – муфта титаноникелевая; 9 – наконечник У-образного элемента с глухим отверстием

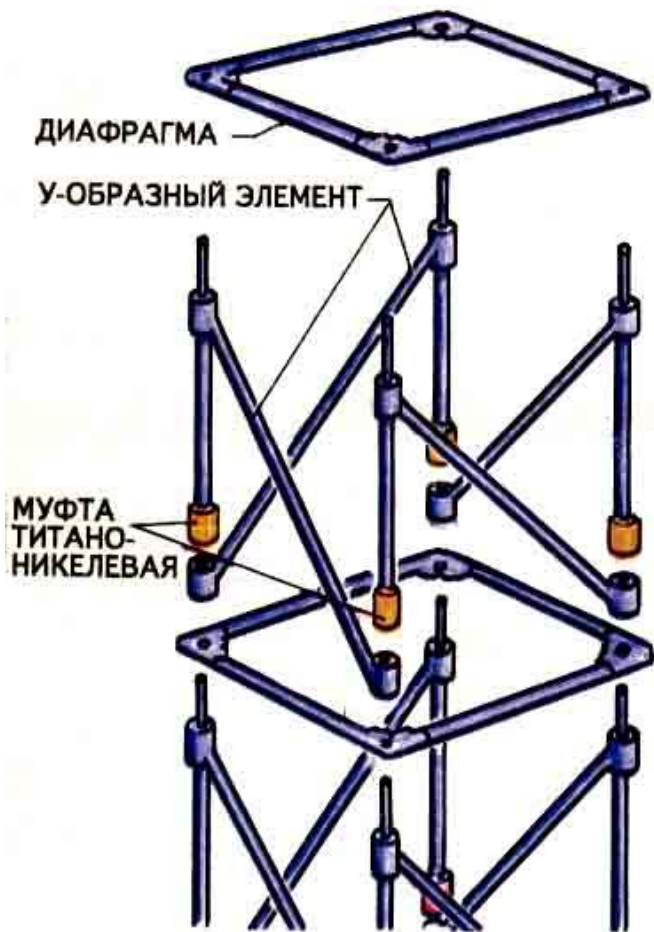
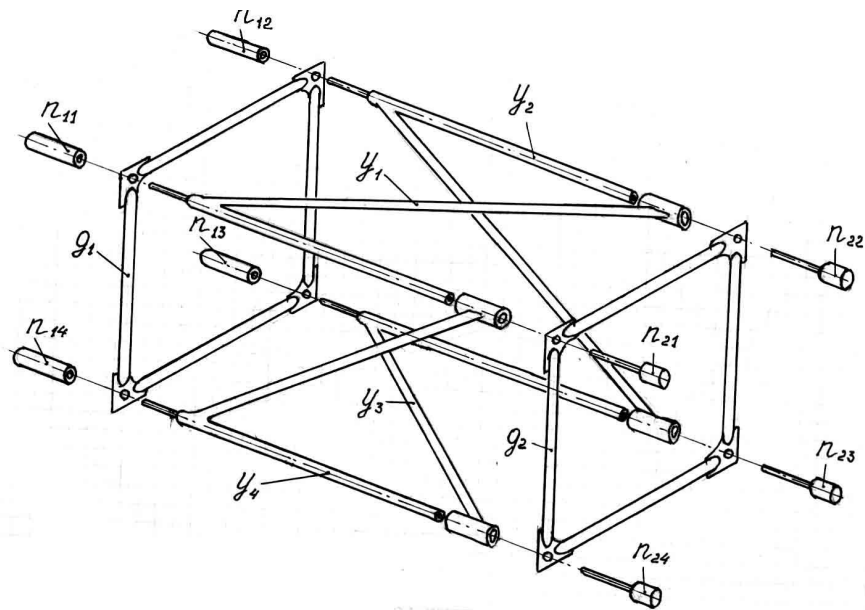
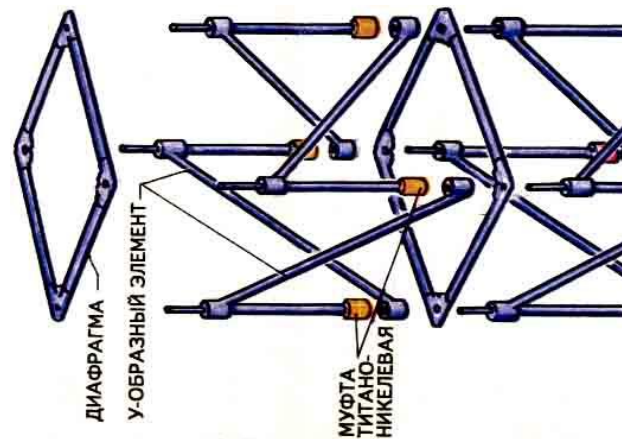
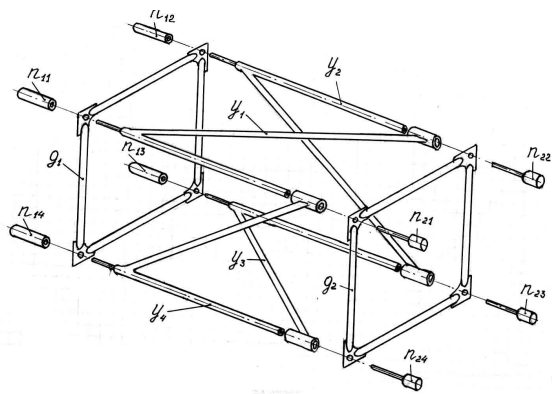


Рис. Элементы отечественной космической фермы эксперимента «СОФОРА»



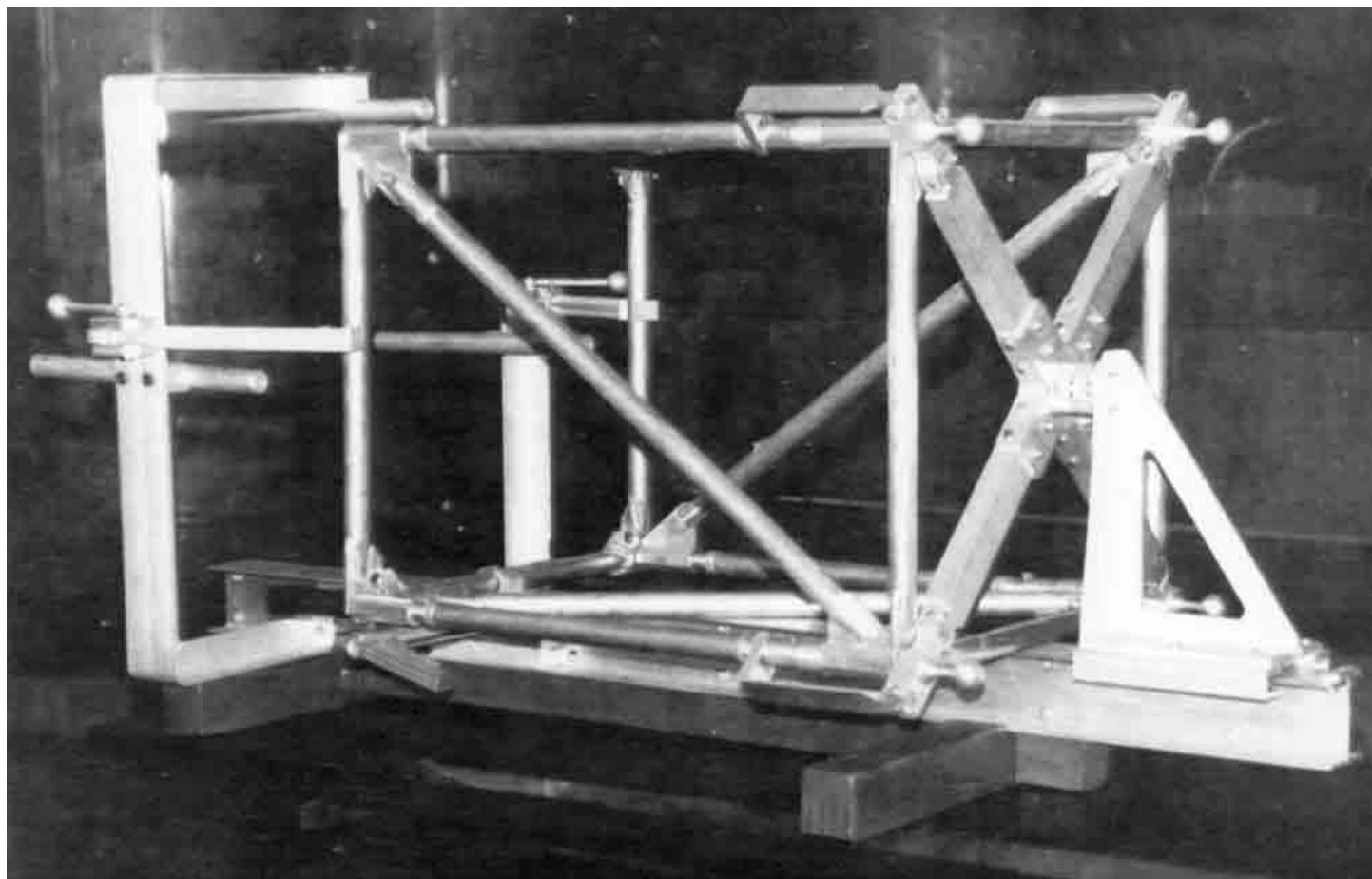
У-образный продольный элемент 2 – плоская сварная конструкция, состоящая из двух фитингов 5,6 и двух стержней, снабженная цилиндрическим хвостовиком с кольцевыми проточками, закрепленными в фитинге 5, и наконечником 9, с закрепленной на нем муфтой 8 из титано-никелевого сплава, обладающего эффектом



Технологический процесс сборки фермы эксперимента СОФОРА включает следующие операции:

- ✓ установка поочередно четырех У-образных элементов 2 в отверстие диафрагмы 1. При этом каждый из выступающих из диафрагмы хвостовиков 7 надевается на наконечник 9;
- ✓ навеска на образовавшиеся стыки фиксирующего устройства и стяжка очередного установленного элемента конструкции;
- ✓ установка следующей, второй по счету, диафрагмы и установка-продевание поочередно четырех У-образных элементов, образующих следующую секцию, своими хвостовиками 7 в отверстия этой диафрагмы и отверстия хвостовика 9 ориентированных У-образных элементов предыдущей секции;
- ✓ монтаж на образовавшиеся стыки фиксирующего устройства и стяжка собранного пакета.

Далее операции по формированию секций фермы повторяются. При сборке последней секции фермы вместо последующих У-образных элементов вставляются наконечники 4.



**Рис. Элементы отечественной космической фермы эксперимента «СОФОРА» в одном из вариантов стапельного устройства в ходе подготовки эксперимента**

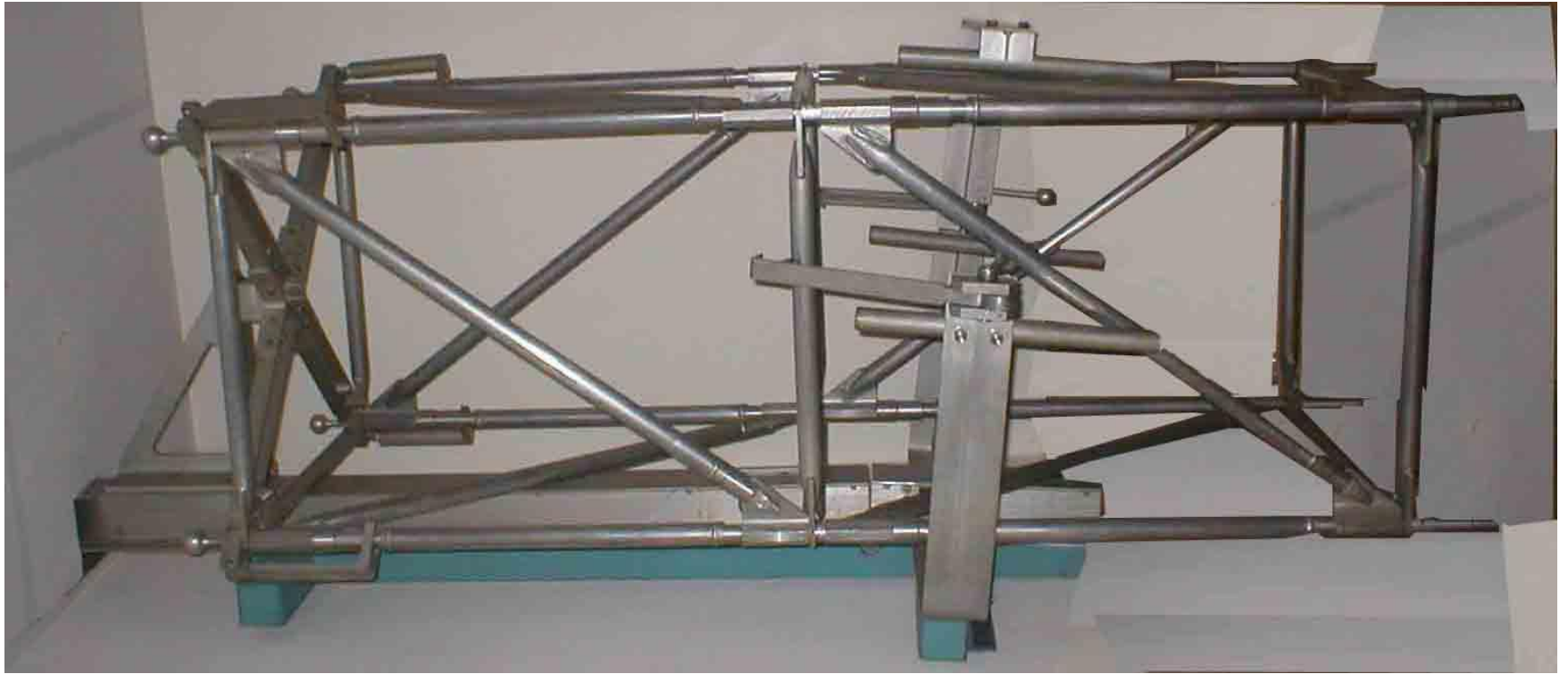


Рис. Элементы космической фермы в одном из вариантов стапельного устройства в ходе подготовки эксперимента

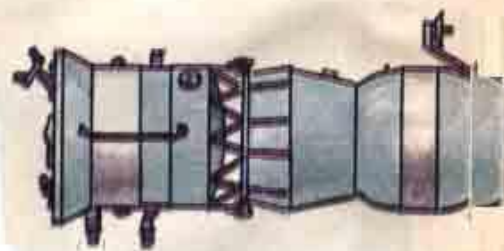


**Рис. Фото во время тренировки в бассейне гидроневесомости по отработке операций сборки фермы к предстоящему эксперименту «Софора»**



СТАПЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО

РАБОЧАЯ ПЛОЩАДКА



«СОЮЗ-ТМ»

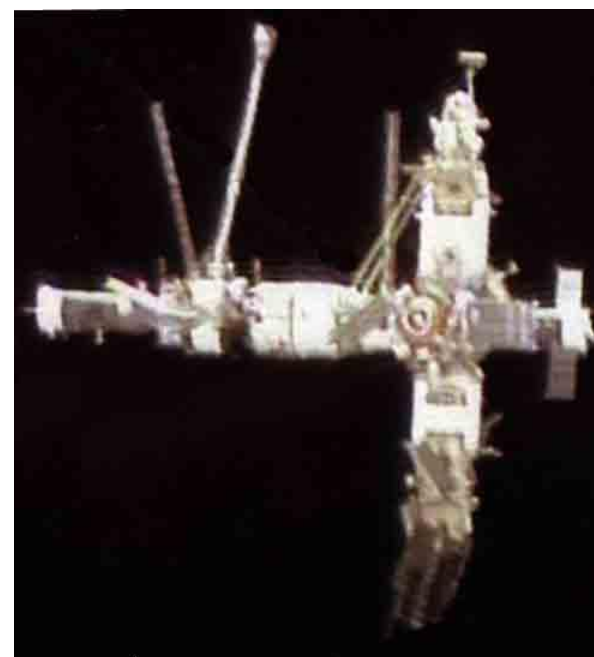


Рис. Схема выполнения сборки космической фермы в ходе эксперимента «Софора»



Рис. Орбитальная космическая станция (ОКС) "Мир"





Сергей Крикалев

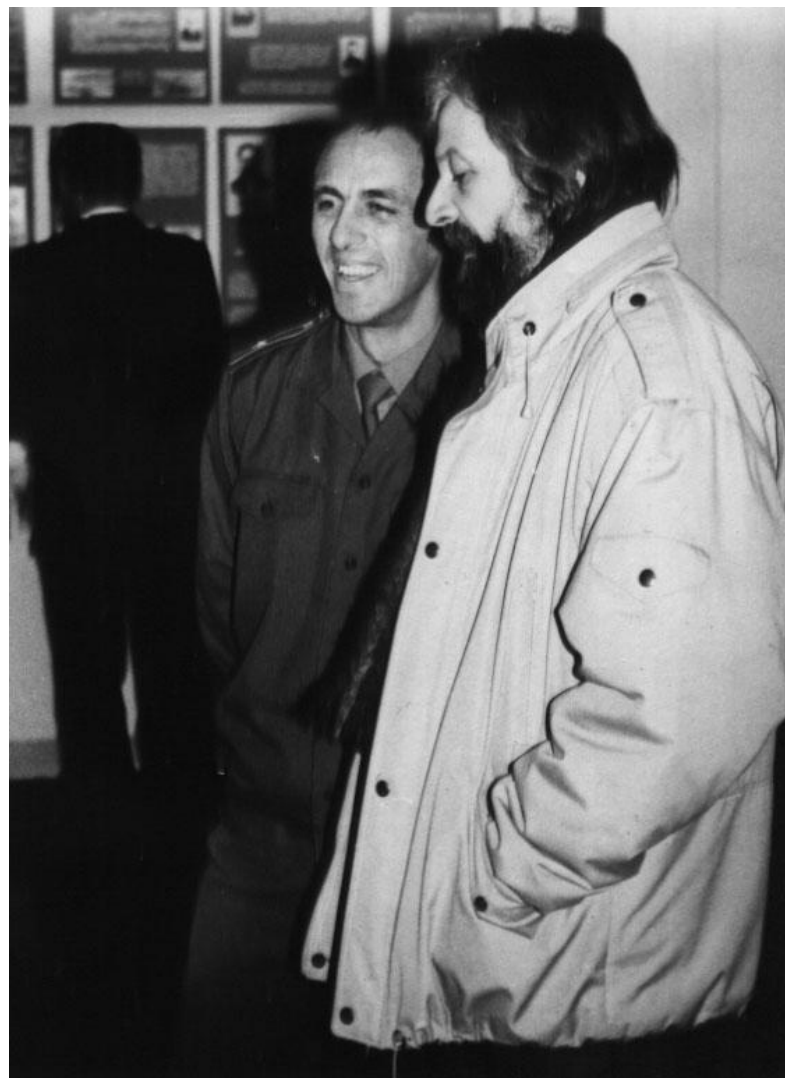


Анатолий Арцибарский

Эксперимент выполняли космонавты Сергей Крикалев и Анатолий Арцибарский



**Рис. Фото на память участников эксперимента «Софора».  
04 декабря 1992 года**



**Рис. Фото с конструкторами фермы эксперимента «Софора» на научно-технической конференции по результатам его успешного проведения. 03 декабря 1992 года (с Чернявским Александром Григорьевичем и Трусовым Сергеем Николаевичем)**

Якущенко В.Ф. Материаловедение.

Технология конструкционных материалов : Учебное пособие / СПбГУГА. С.-Петербург, 2008.



### Использованная литература:

1. **Сплавы с эффектом памяти формы/К. Ооцука, тК. Симидзу, Ю. Судзуки и др./Под ред. Фунакуба Х.: Пер с японск.. – М: Металлургия, 1990. – 224 с. 12.**
2. **Курдюмов Г. В., Хандрос Л. Г. Открытие № 239. Явление термоупругого равновесия фаз при фазовых превращениях мартеситного типа (эффект Курдюмова) – Металлофизика, 1981, т. 3, № 2, с. 124. 3. Технология конструкционных**
3. **Лихачев В. А., Кузьмин С. Л., Каменцева З. П. Эффект памяти формы. – Л.: Изд-во Ленингр. Ун-та, 1987. – 216 с.**
4. **Займовский В. А., Колупаева Т. Л. Необычные свойства обычных металлов материалов / Под ред. Л. Г. Асламазова. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 192 с. – (Библиотечка «Кван». Вып. 32). – 30 к.**
5. **Фотографии из ресурсов Интернет**

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации

Кафедра № 24 - «Авиационной техники»