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

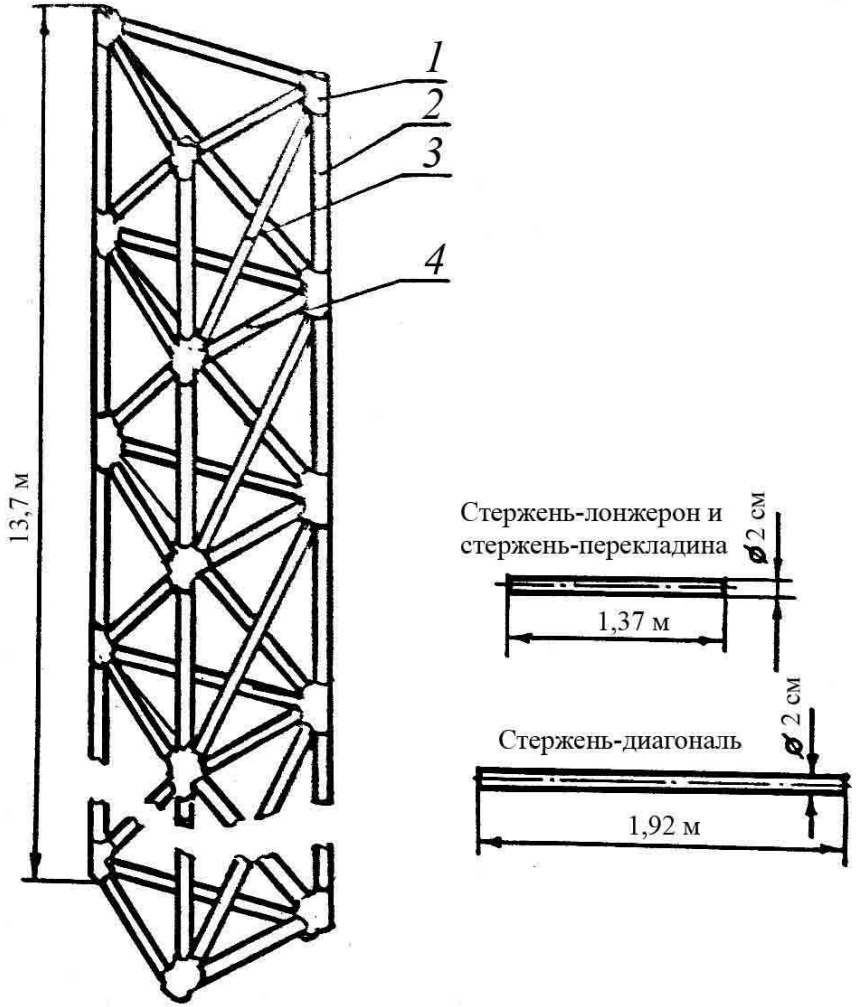


Рис. **Ферма эксперимента ACCESS:** 1 – узловое соединительное устройство (УСУ); 2 – стержень-лонжерон (СЛ); 3 – стержень-диагональ (СД); 4 – стержень-перекладина (СП)

Элементы фермы включали:

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

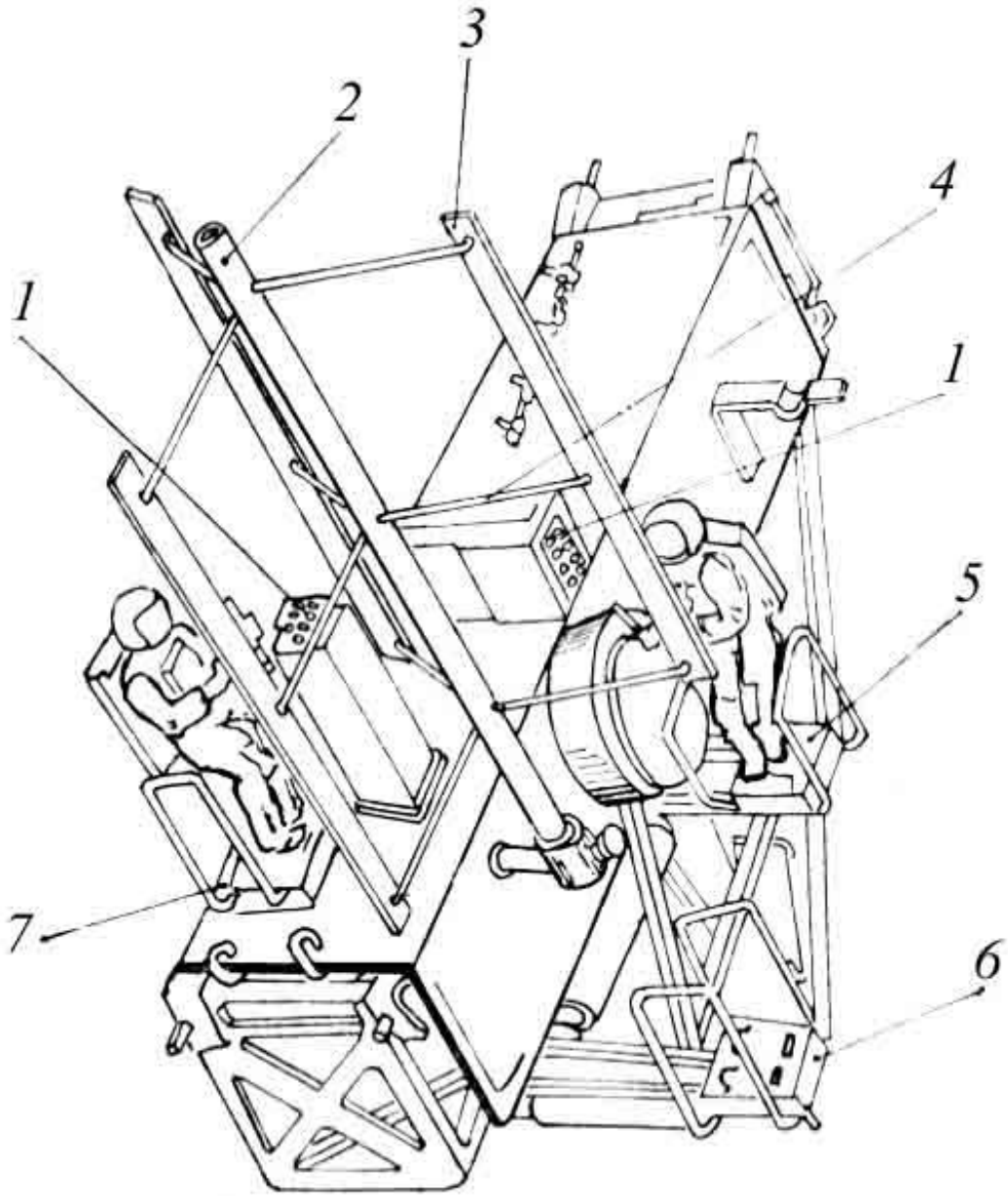
Все стержни представляли собой трубки из алюминиевого сплава диаметром 2,5 см, покрытые пластиком (материал Каптон) и выкрашенные в золотистый цвет.

Рис. **Ферма эксперимента ACCESS - фото**

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

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

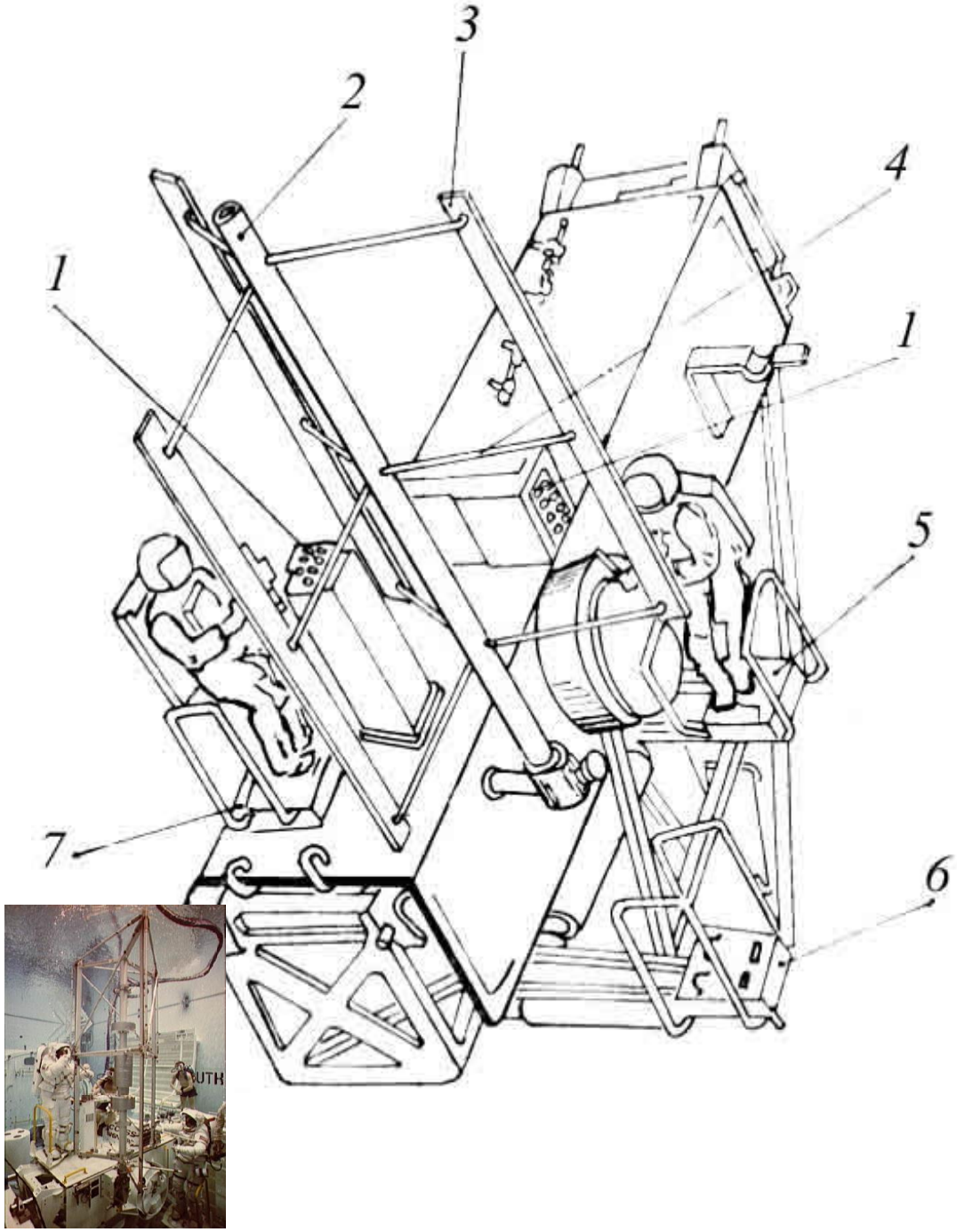
Соединительные устройства (все одинаковые) представляли собой втулки с 6-ю пружинными замками и позволяли выполнять операции соединения стержней в узлах фермы одной рукой, а также обеспечивали автоматическую фиксацию (защелкивание) в определенных местах стапеля.



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 (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



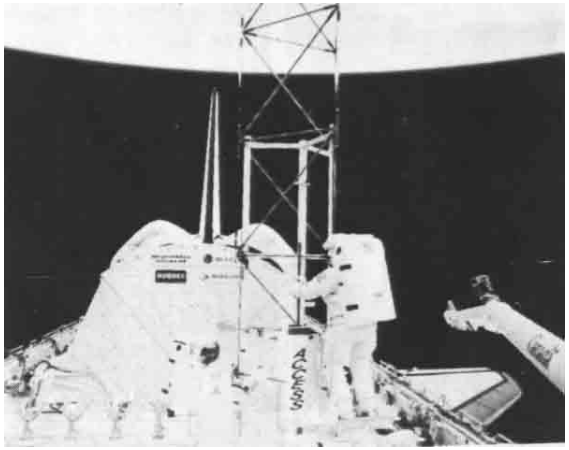
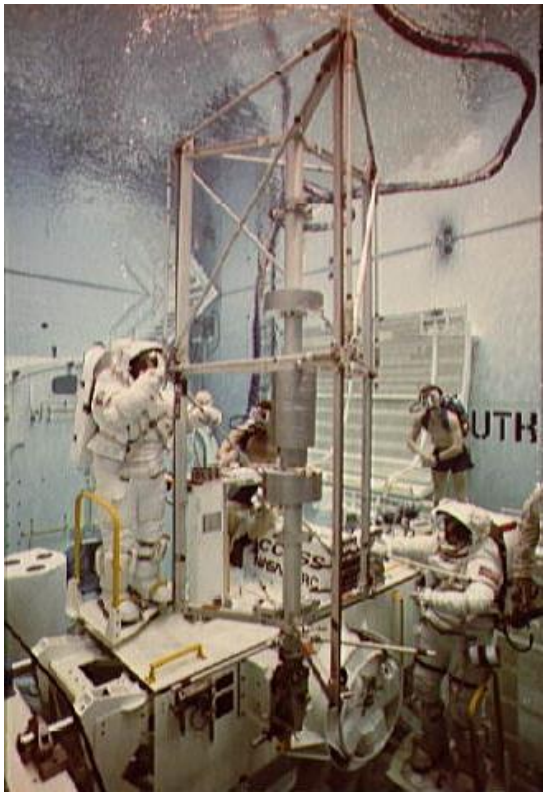
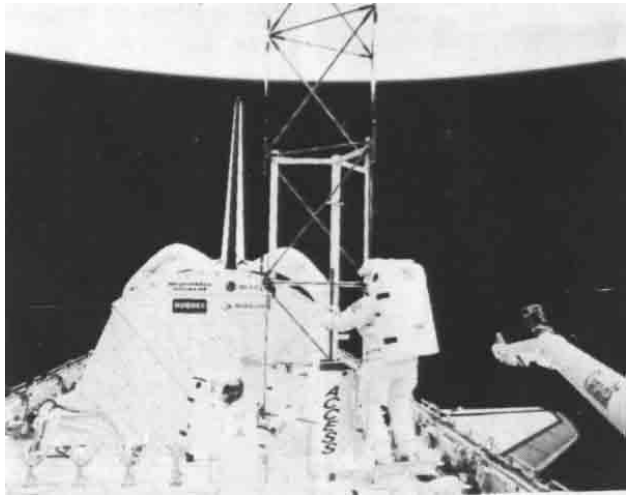


Рис. **Приспособление для сборки ферменной конструкции ACCESS из стержневых элементов - Mission Peculiar Equipment Support Structure (MPESS):**
1 – жестяная коробка со стержнями; 2 – центральная вертикальная трубчатая мачта; 3 – три раздвижные направляющие; 4 – рейки в количестве девяти штук; 5 – нижнее рабочее место; 6 – корпус укладки;7 – верхнее рабочее место





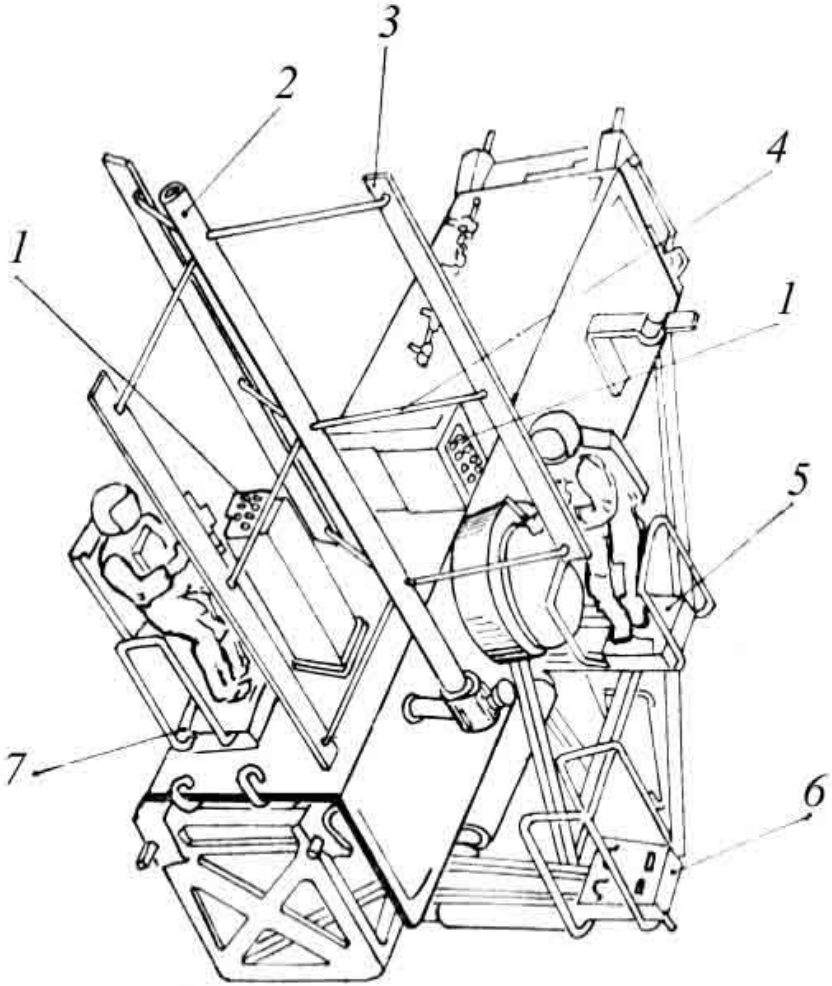
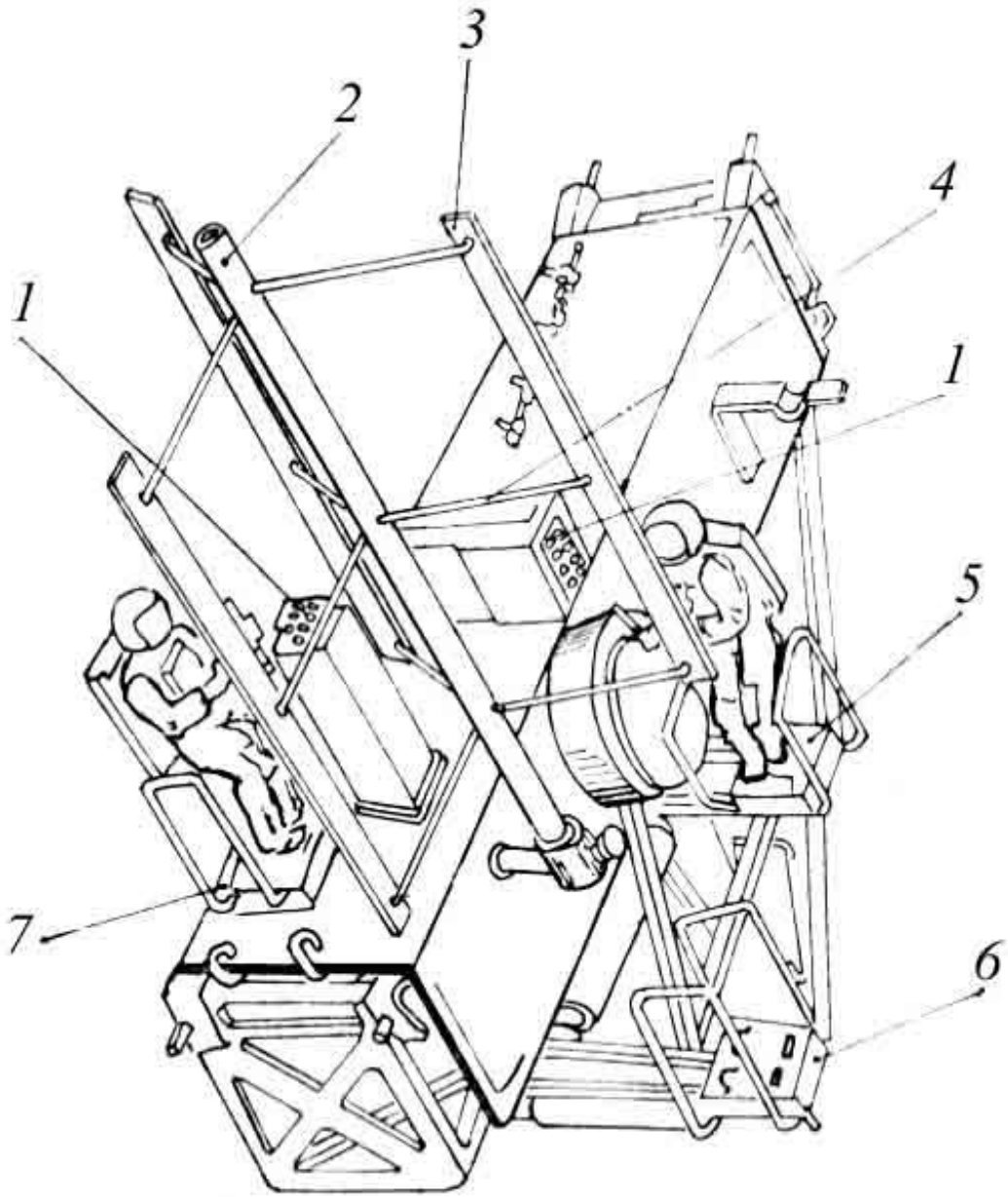
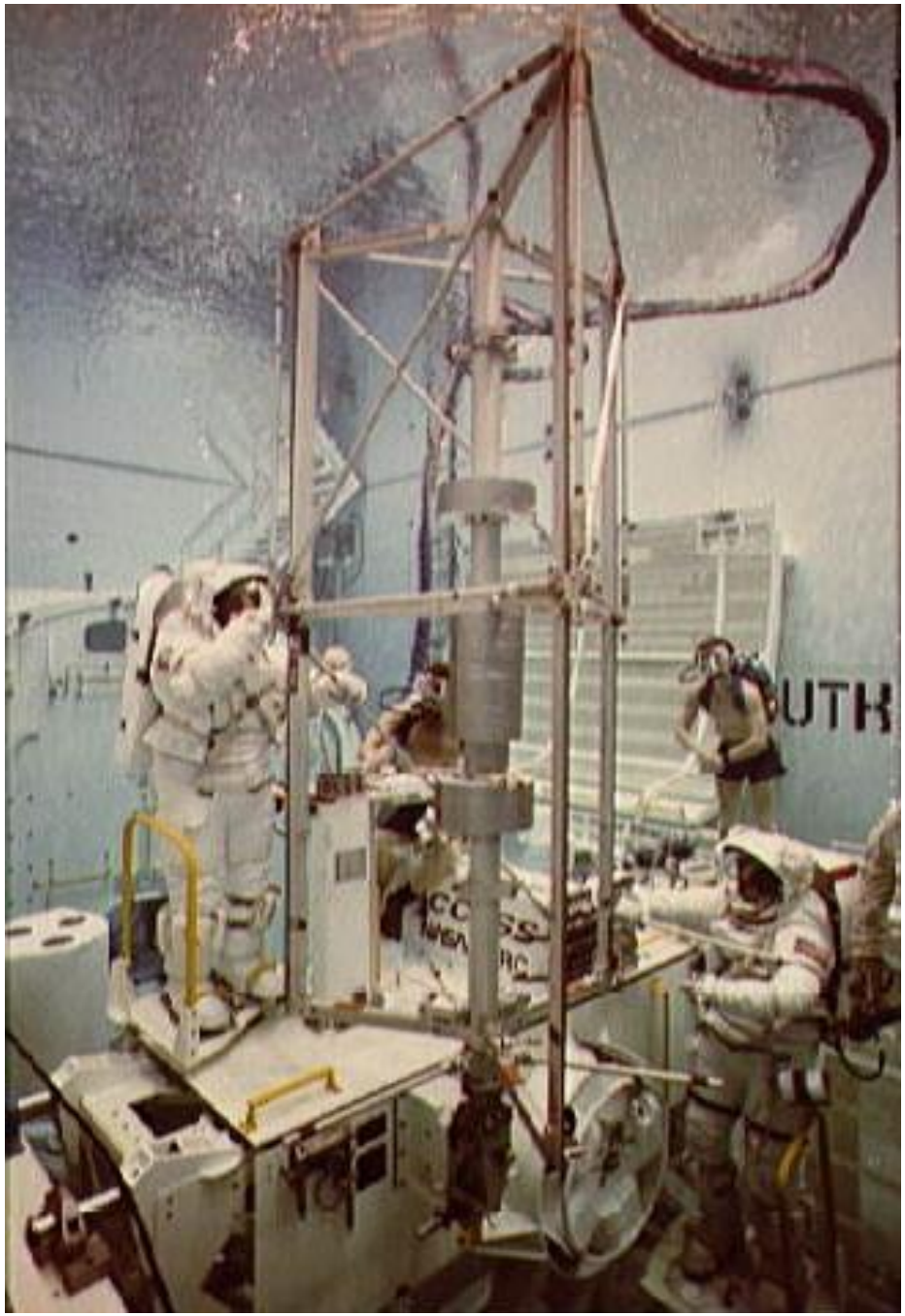


Рис. **Приспособление для сборки ферменной конструкции ACCESS из стержневых элементов - Mission Peculiar Equipment Support Structure (MPESS):**

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

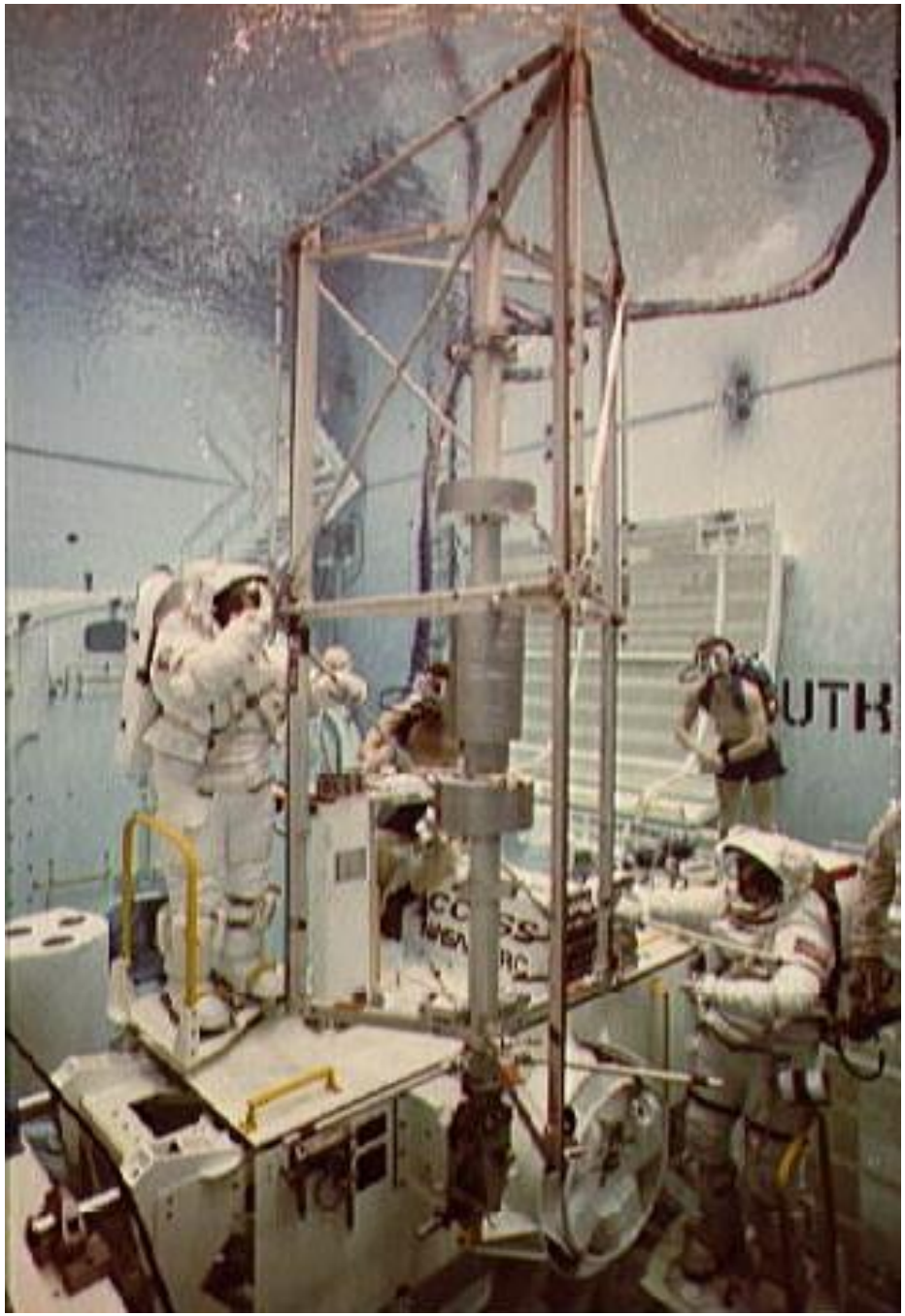


Сборка фермы на 1-ом этапе эксперимента осуществлялась двумя космонавтами с рабочих мест №1 («верхнее», лицом к мачте) и №2 («нижнее», мачта справа) на корпусе укладки MPESS. Оба этих рабочих места обеспечивали непосредственный доступ к пеналам с трубчатыми стержнями 1 и соединительными устройствами.



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 нижним 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.

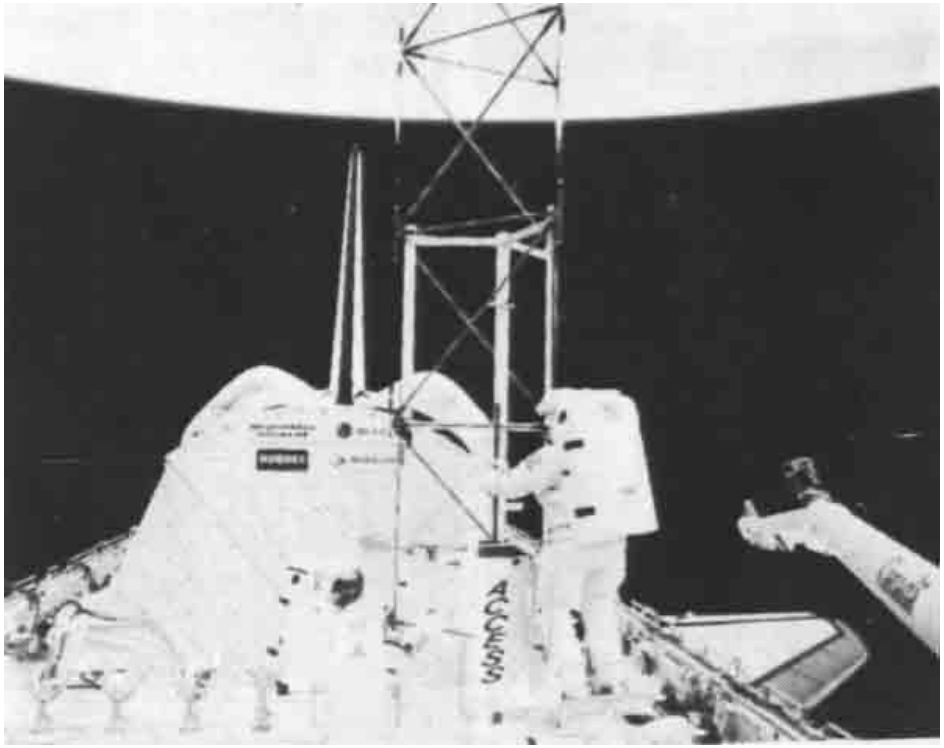
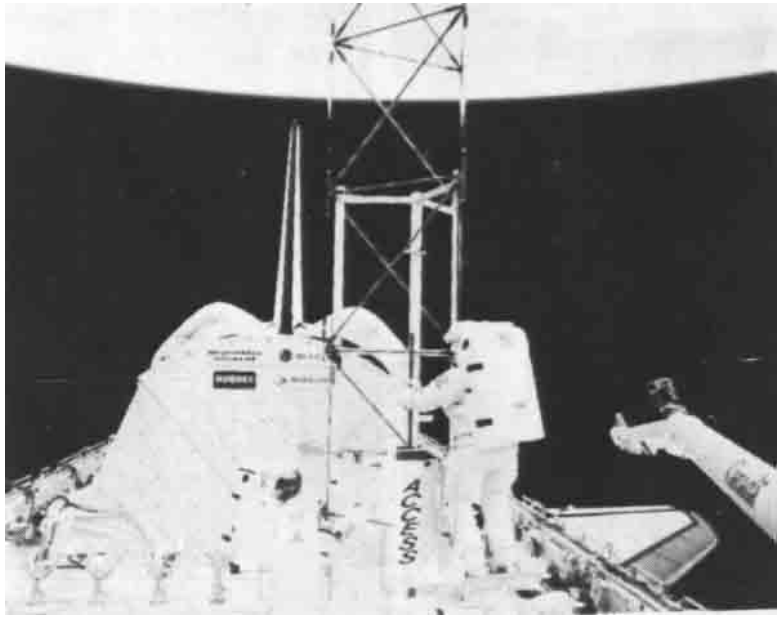
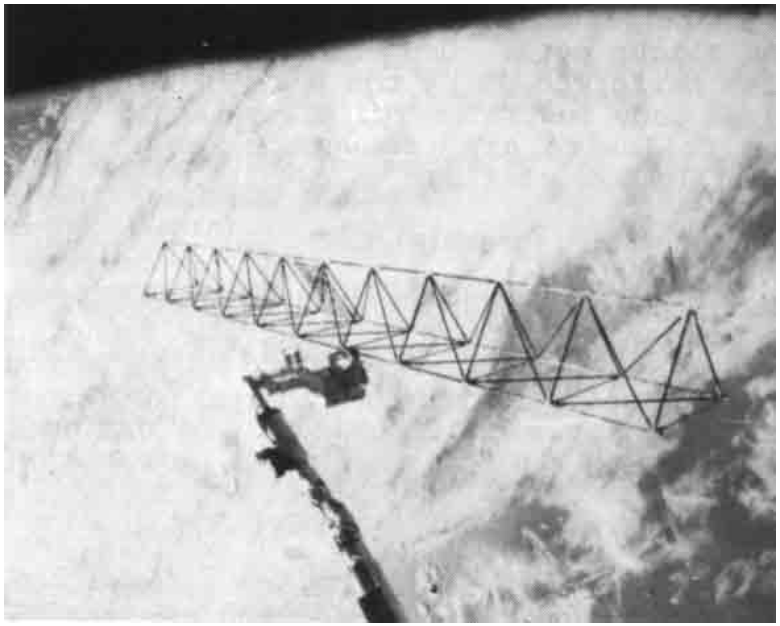


Рис. **Выполнение операций сборки ферменной конструкции ACCESS в открытом космосе**





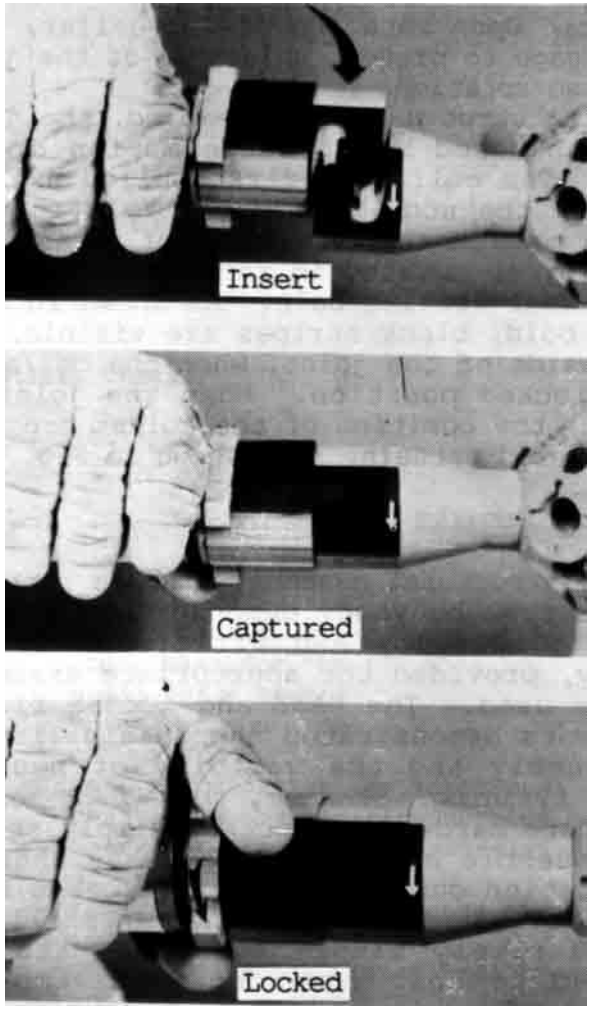


Рис. Сборка в космосе ферменной конструкции американскими специалистами в ноябре 1985 года – эксперимент Assemly Concept for Construction of Erectable Space Structure (ACCESS) и схема действия узлового соединительного устройства

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 Assemly 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.

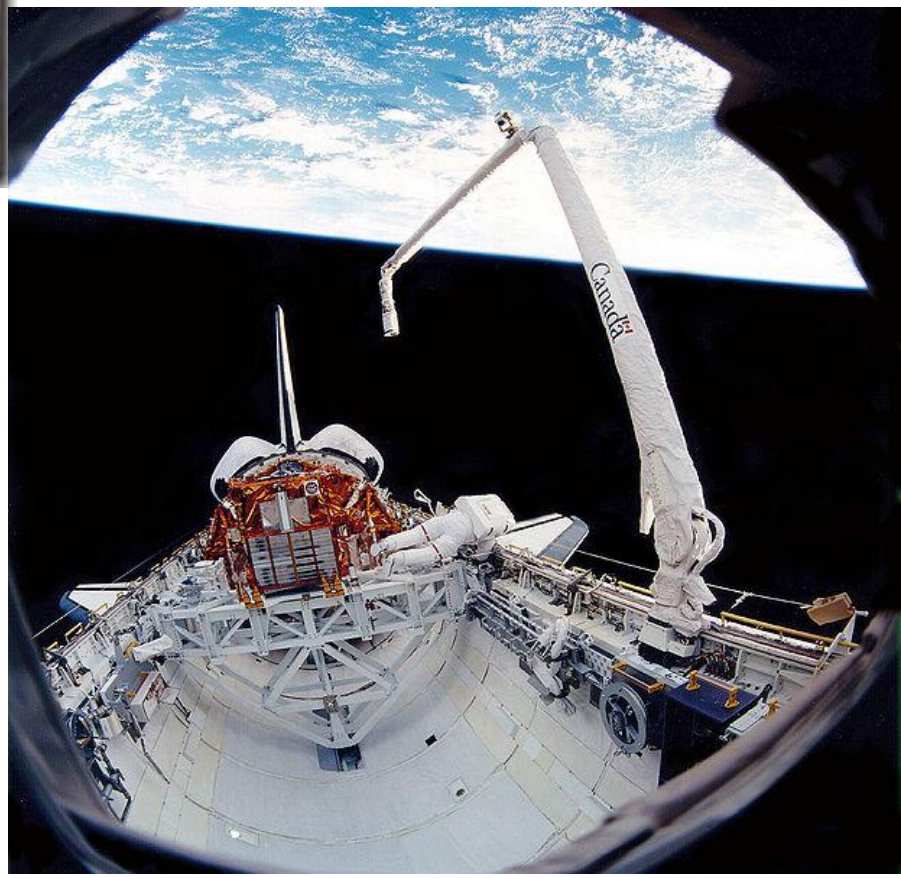
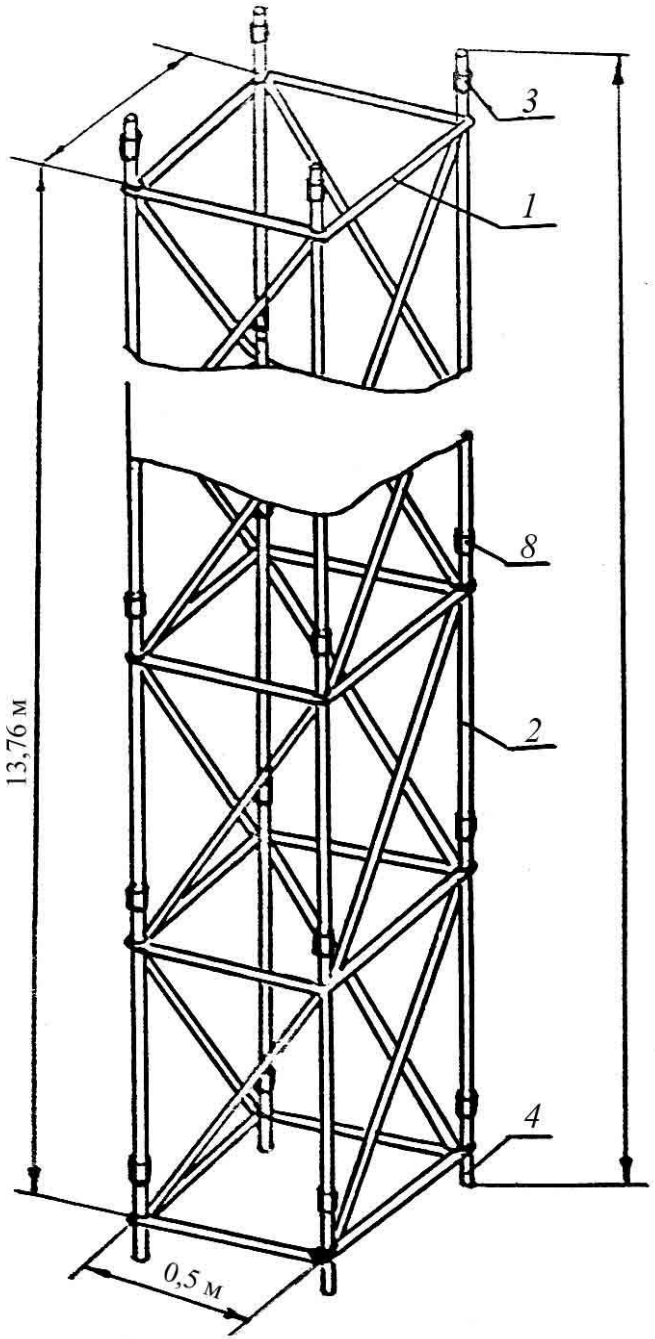


Рис. **Манипулятор –**
Manipulator –
RMS (Remote Manipulator System)

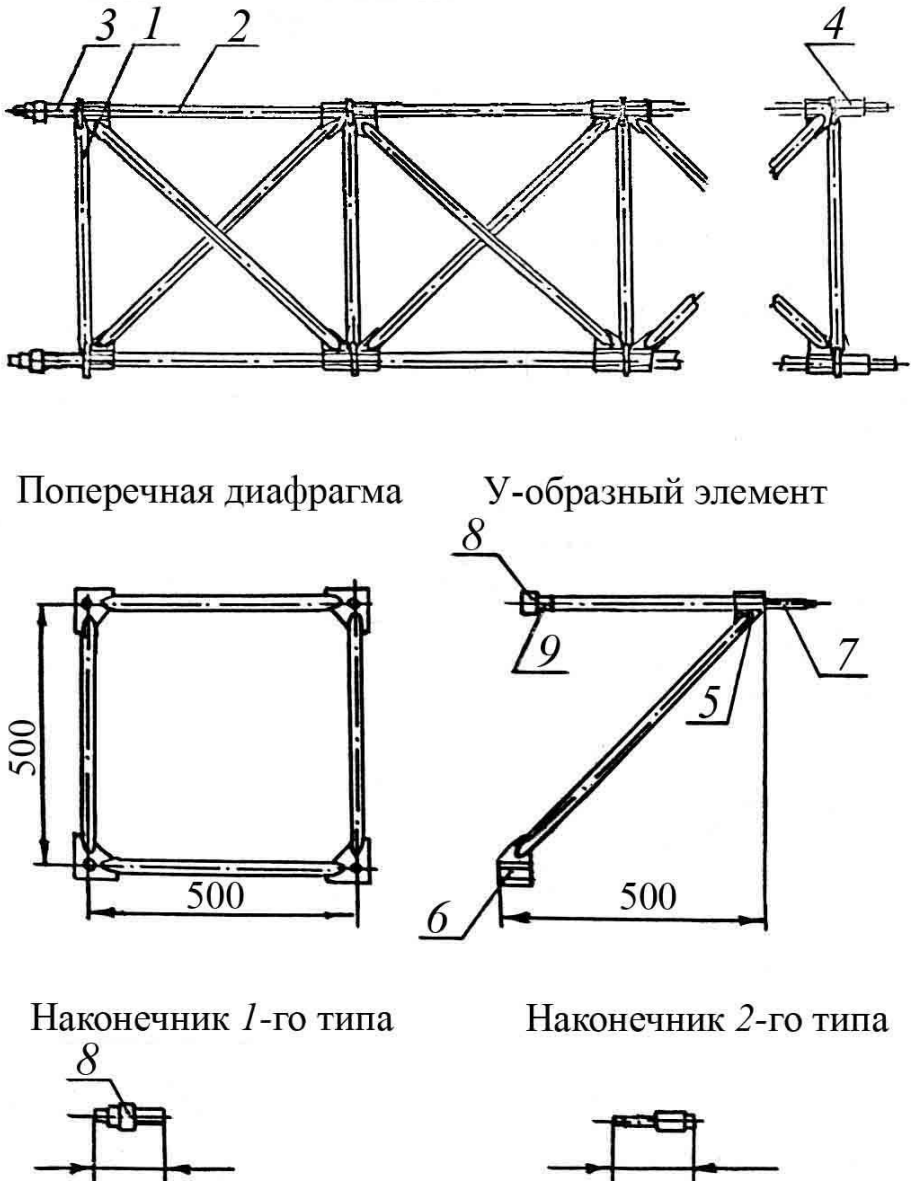
Рис. **Манипулятор – SSRMS (Space Station Remote Manipulator System)**

NASA
EASE



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 штуки)

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



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 титано-никелевая; 9 - наконечник У-образного элемента с глухим отверстием

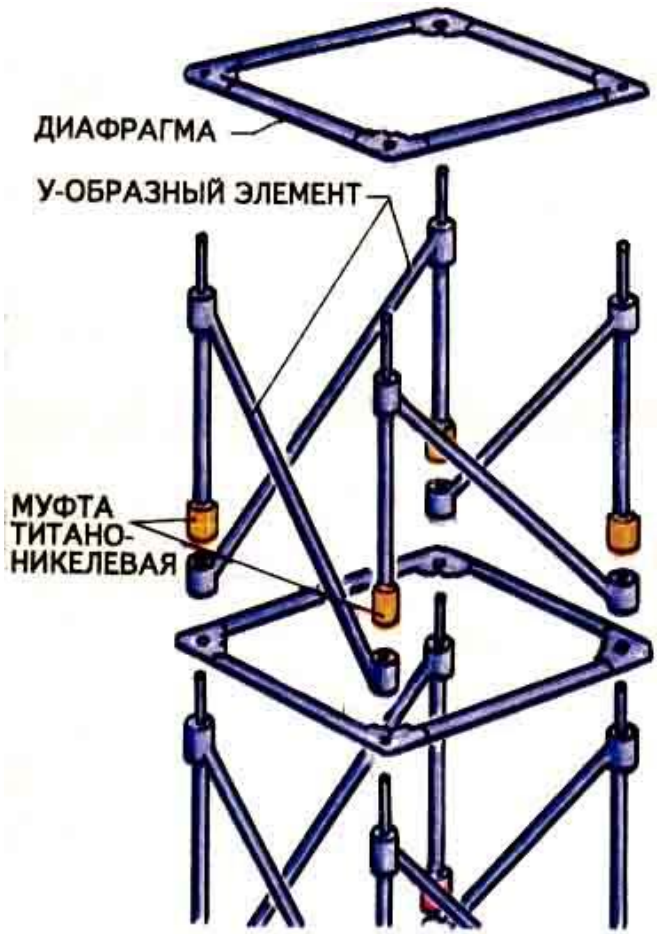
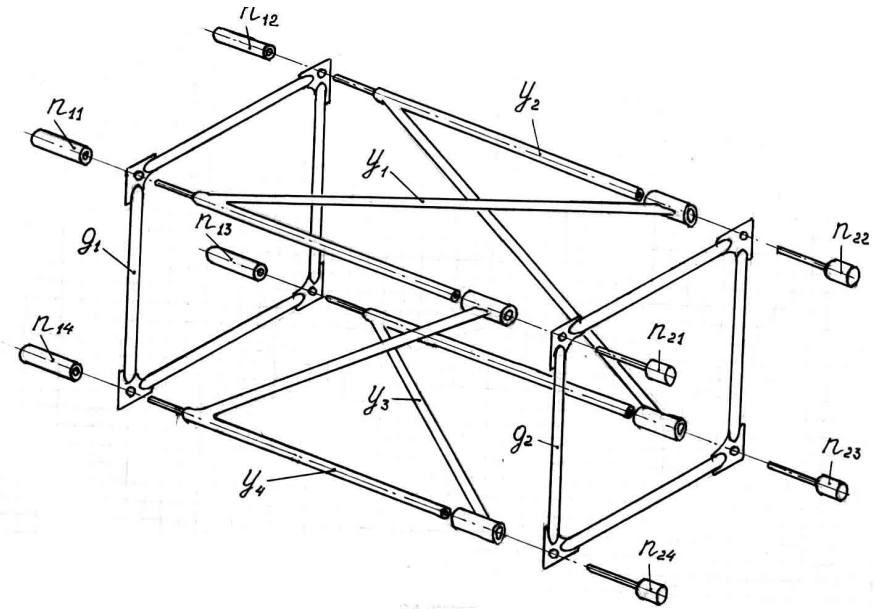
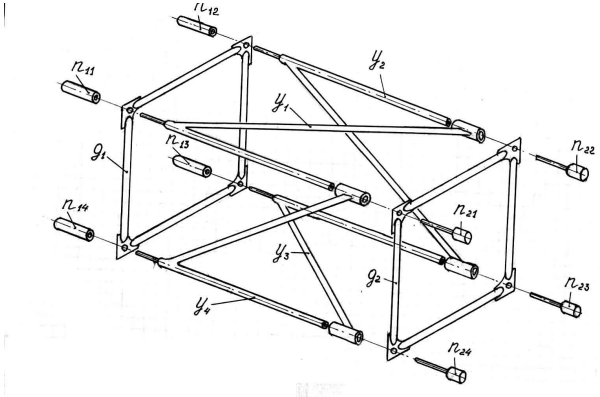
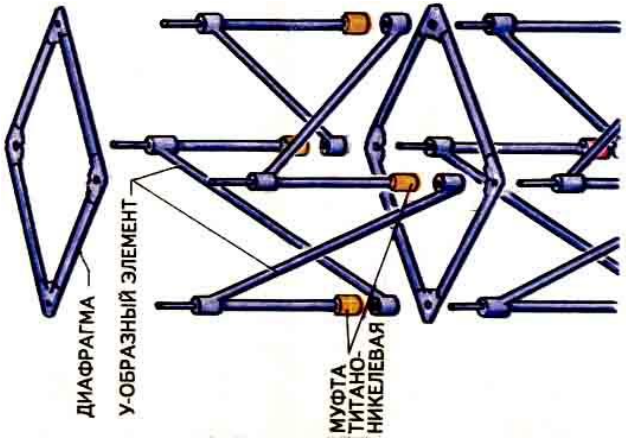


Рис. **Элементы отечественной космической фермы эксперимента «СОФОРА»**



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-никелового 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.

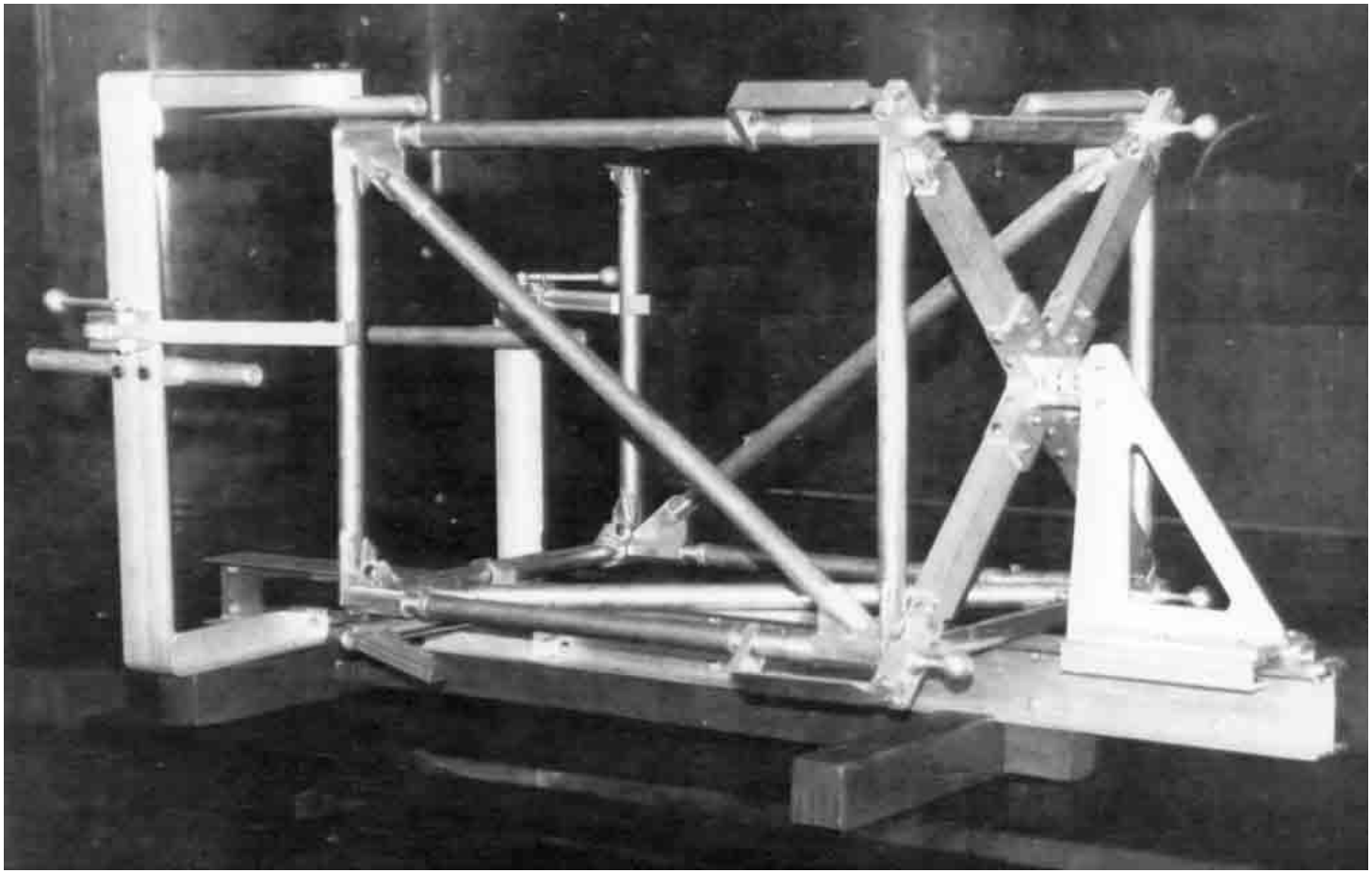


Рис. **Элементы отечественной космической фермы эксперимента «СОФОРА» в одном из вариантов стапельного устройства в ходе подготовки эксперимента**

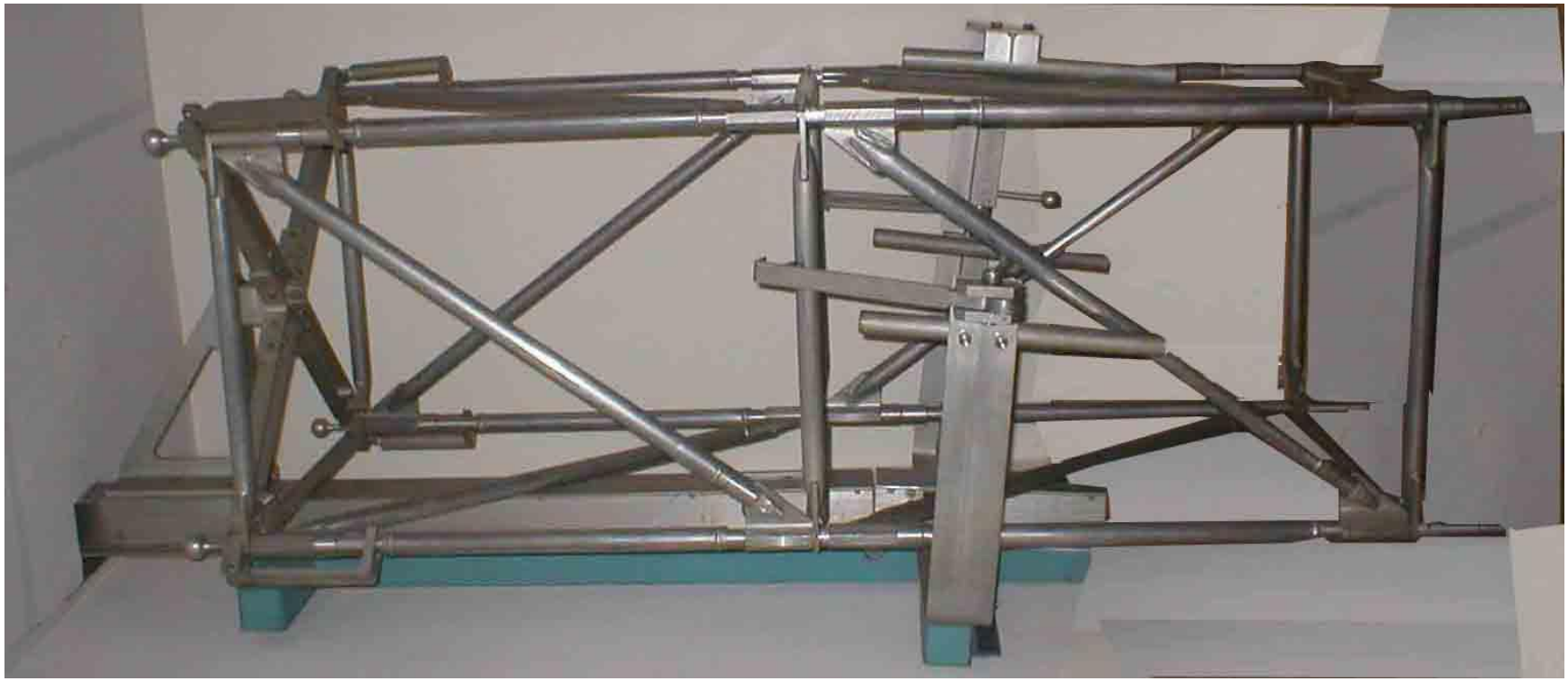
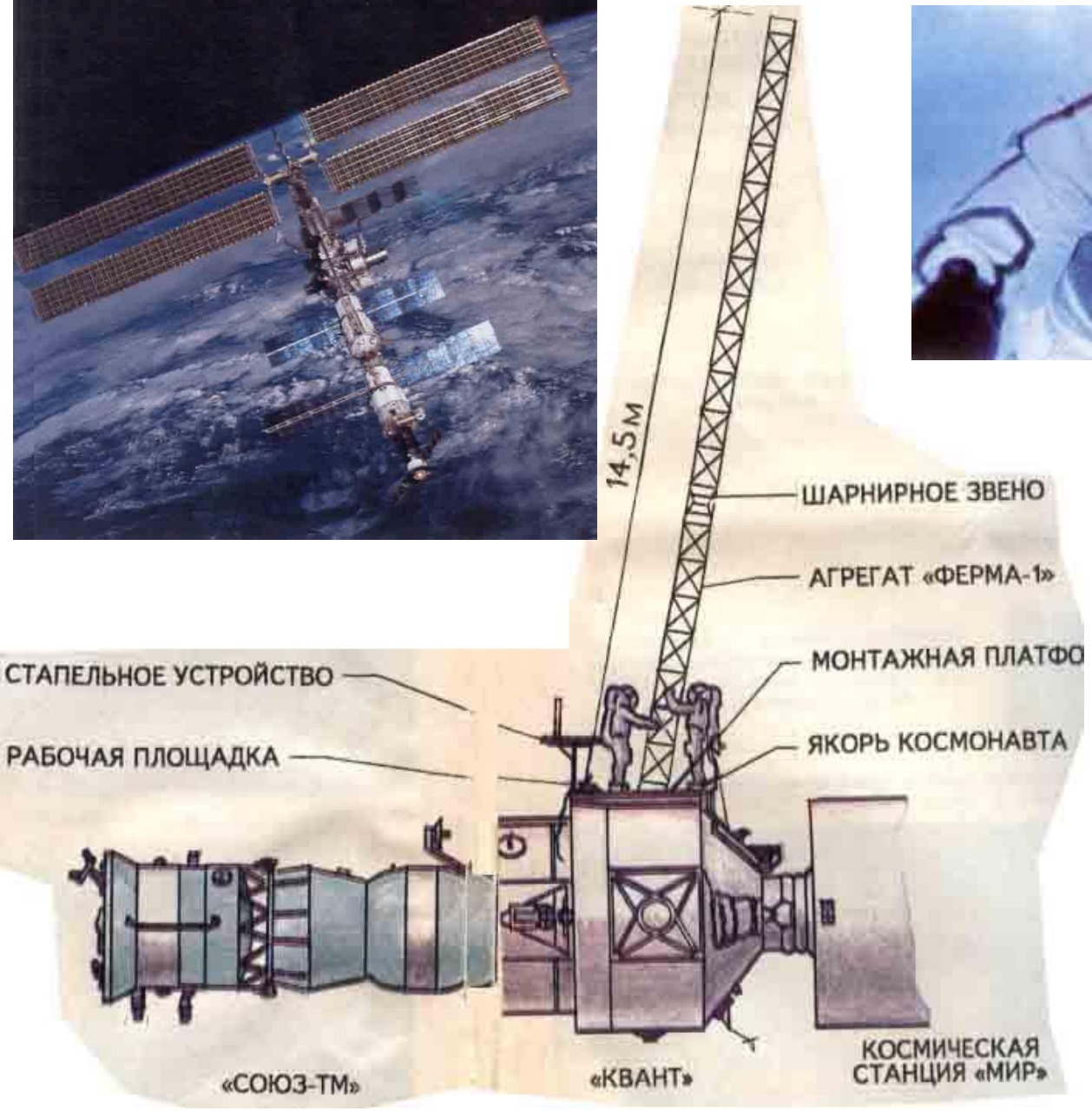


Рис. Элементы космической фермы в одном из вариантов стапельного устройства в ходе подготовки эксперимента

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



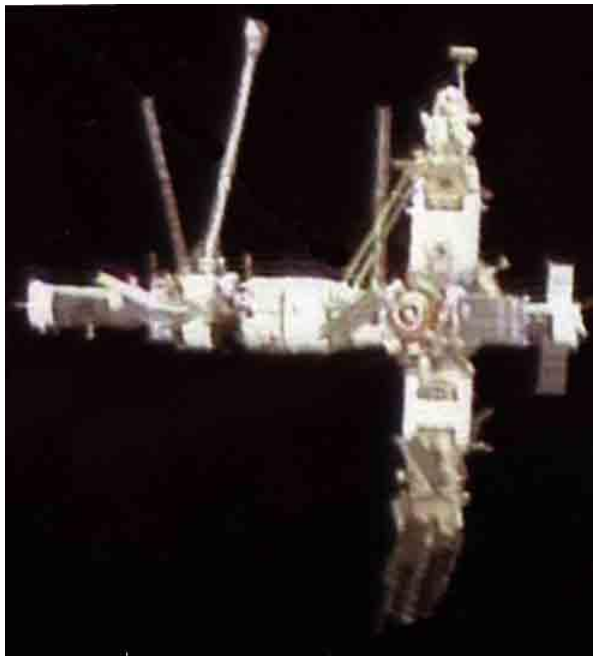


Рис. **Схема выполнения сборки космической фермы в ходе эксперимента «Софора»**

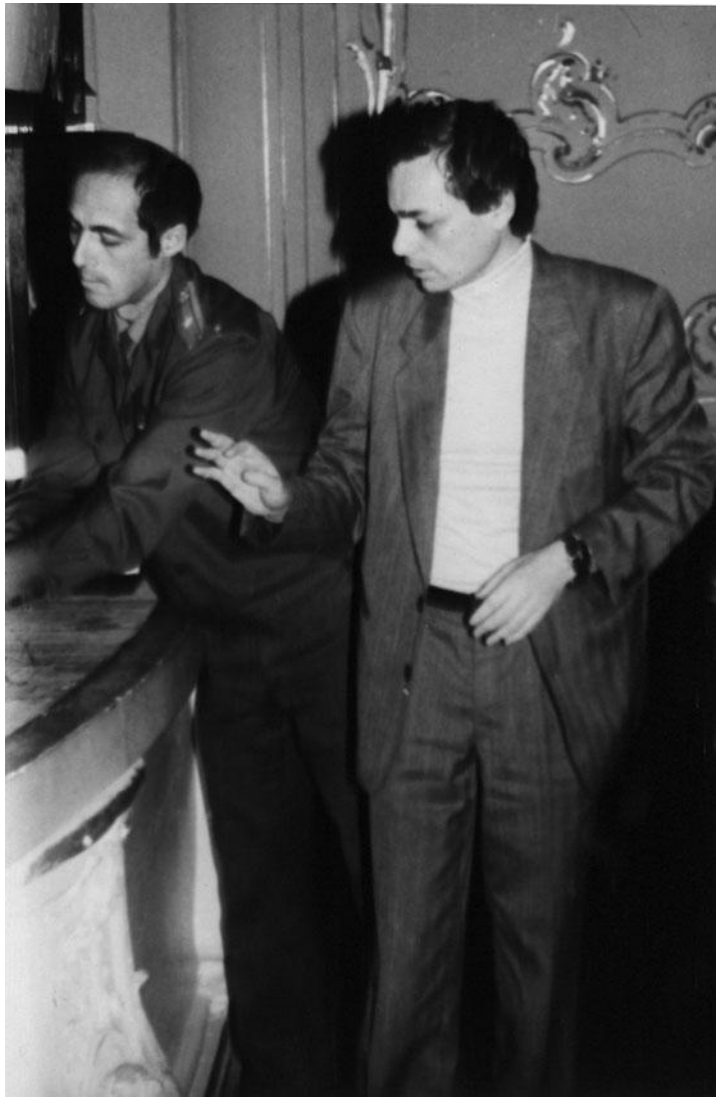
Рис. **Орбитальная космическая станция (ОКС) "Мир"**

Сергей Крикалев

Анатолий Арцибарский

Эксперимент выполняли космонавты Сергей Крикалев и Анатолий Арцибарский

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



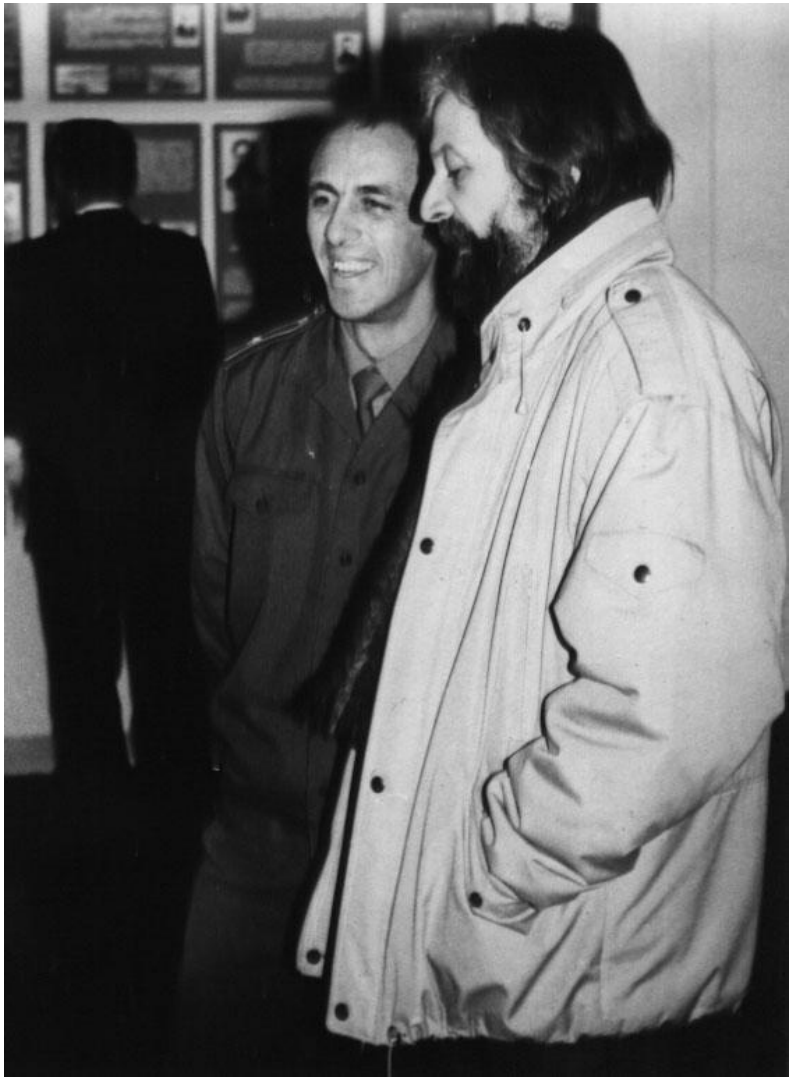


Рис. **Фото с конструкторами фермы эксперимента «Софора» на научно-технической конференции по результатом его успешного проведения. 03 декабря 1992 года** (с Чернявским Александром Григорьевичем и Трусовым Сергеем Николаевичем)

Якущенко В.Ф. Материаловедение.
Технология конструкцикционных 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 чвойства 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»