

# Измерительный комплекс для прочностных криостатических испытаний изделий РКТ.

Фельдман В.П. – от НПП «Мера»

Самсонов А.В. – от ФКП «НИЦ РКП»

*В статье представлен созданный для проведения прочностных криостатических испытаний информационно-измерительный комплекс на базе цифровых тензостанций МИС-018-03 и аппаратно-программного обеспечения измерений разработки НПП «Мера».*

Целью стендовых статических испытаний на прочность является экспериментальное подтверждение прочности элементов РКТ при максимальных эксплуатационных и расчетных нагрузках. При этом решаются следующие задачи:

- определение напряженно-деформированного состояния при нагружении конструкции до максимальных эксплуатационных и расчетных нагрузок, во время стоянки изделия на ПУ и максимальных скоростных напорах во время полета;
- определение жесткостных характеристик корпуса и элементов РКН.

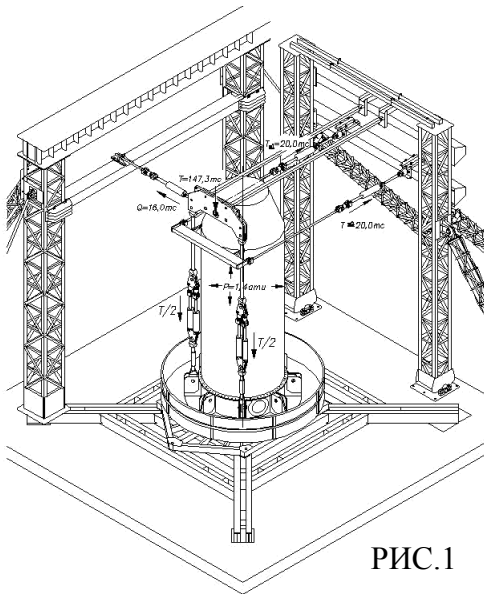


РИС.1

Испытания проводятся на стендовой базе ФКП «НИЦ РКП» (рис.1), которая была специально разработана и создана для проведения таких статических нагружений крупногабаритных конструкций при криогенной температуре. На стенде кроме силового основания, инженерных конструкций портала и специально разработанной для нагружения оснастки была вновь разработана и система измерений (СИ), включающая в себя наземную кабельную сеть, кроссовое оборудование, регистраторы сигналов датчиков перемещения, силы, температуры и давления, тензостанции для тензоизмерений и аппаратно-программное обеспечение управления процессом испытаний, конфигурированием, метрологическим обслуживанием, обработкой и представлением результатов измерений в темпе эксперимента. Система спроектирована (рис.2) для многоканальных измерений (до 1000 параметров) медленно-меняющихся параметров (до 10 Гц).

Первую проверку и подтверждение работоспособности система получила в 2009 году при проведении испытаний ракетных модулей по теме «Ангара». В таблице 1 перечислены измеряемые параметры, количество и типы датчиков, применяемых в криостатических испытаниях ускорителя I ступени УРМ-1 (РН 14А127) – сборка №А11.

Таблица 1 Датчики системы КСИ криостатических испытаний по теме «Ангара» (сб.№А11)

№	Место установки		Изменяемый параметр	Тип датчика	Индекс параметра	Кол-во
	объект	элемент				
1	Бак «О»	Контур бака «О»	Деформация Температура Перемещение Давление Сила	ЕВ001 ТП018 Вт713/718 МД-10Т ТС21	6Д Т ПО Р С	96 8 24 1 7
		Верхнее днище бака «О»	Деформация	ЕВ002	ВДО	106
		Обечайка бака «О»	Температура	ТП018	Т	8
		Панель обечайки бака «О»	Деформация	ЕВ002	ПОО	24
		Расход трубы бака «О»	Температура	ТП018	Т	3
2	Отсек межбаковый /МБО/		Деформация Температура	ЕВ002 ТП018	МБО Т	248 4
3	Отсек передний	На стрингерах	Деформация	ЕВ002	ОПС	42
		На шпангоутах	Деформация	ЕВ002	ОПШ	139
		На стыковочном узле	Деформация Перемещение	ЕВ002 Вт713/718	СТУ ПУ	18 21
<b>ИТОГО:</b>						<b>749</b>
в т.ч. деформация - 673, температура – 23, перемещения – 45, давление -1, сила - 7						

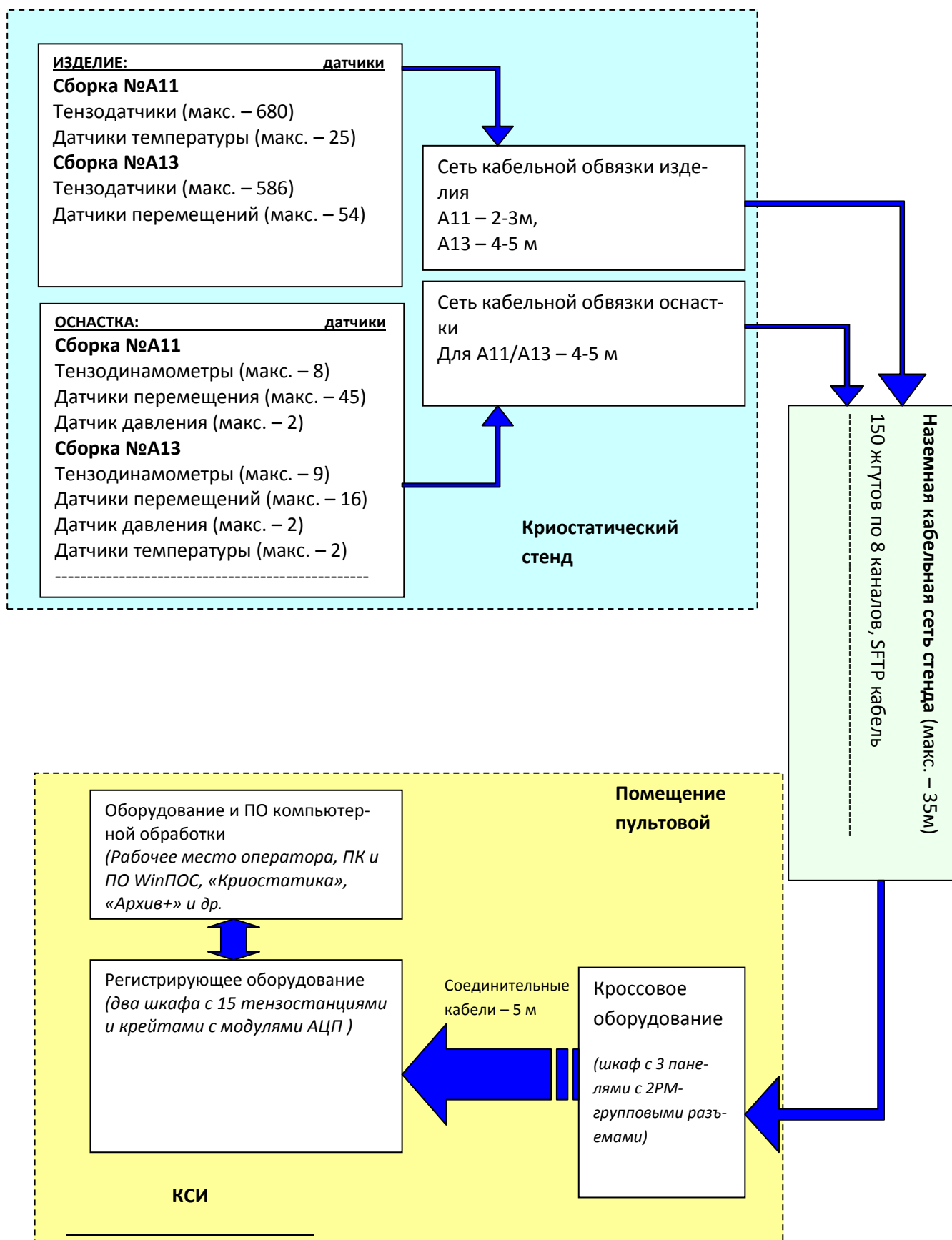


РИС.2

Разработка проекта системы измерений и его реализация для криостатического стенда была проведена в 2009 году специалистами НПП «Мера». Первоначально рассматривались варианты решения поставленной задачи с использованием универсальной аппаратуры для динамического и статического тензометрирования (крейты MIC-036R с модулями MC-212) с синхронизацией передачи данных на пульт оператора по Ethernet-сети – рис.3 (вариант не прошел по финансовым соображениям) или с использованием тензостанций для статических измерений MIC-018-03, размещенных в подкатных приборных стойках в непосредственной близости к объекту испытаний, что позволяло экономить на наземной кабельной сети (вариант не прошел по техническим соображениям – стенд открыт климатическому воздействию – рис.4).

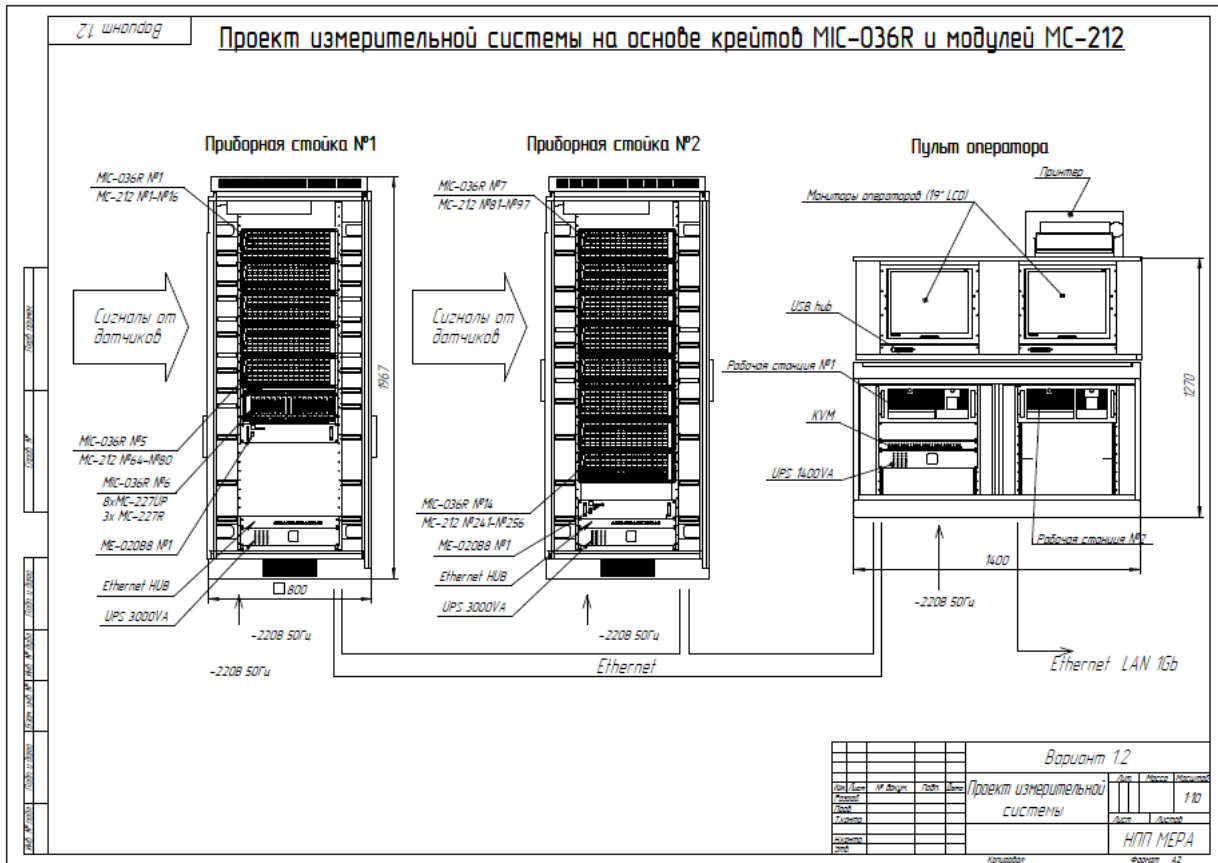


РИС.3

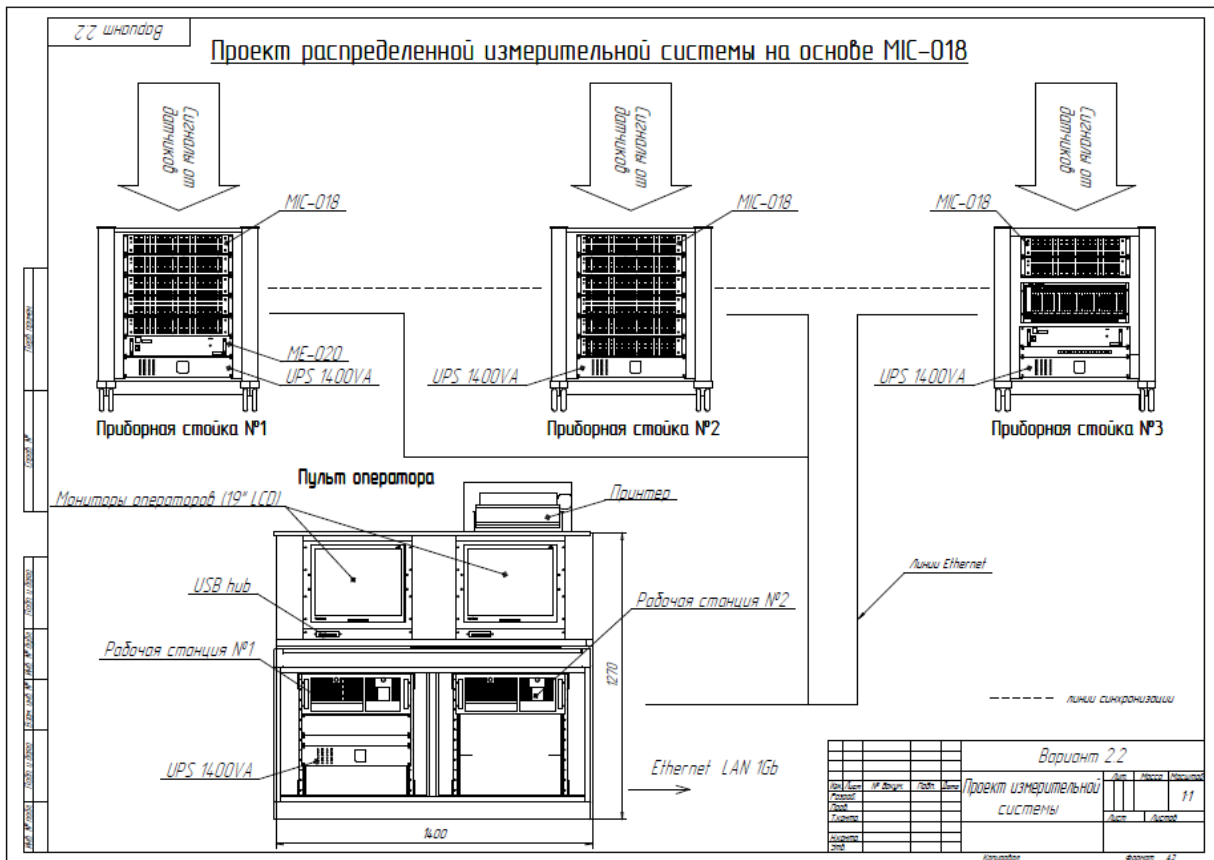


РИС.4

Окончательный вариант измерительной системы базировался на тензостанциях MIC-018-03 и крейтах MIC-036R с измерительными модулями MC-227UP и MC-212, размещенными в помещении пультовой в 30 метрах от объекта испытания. При подключении датчиков использовалась 4-х проводная схема подключения тензорезисторов, 8-ми проводная схема для подключения датчиков силы и 5-проводная схема для подключения потенциометрических датчиков, что исключало влияние на измерения длинной линии связи.

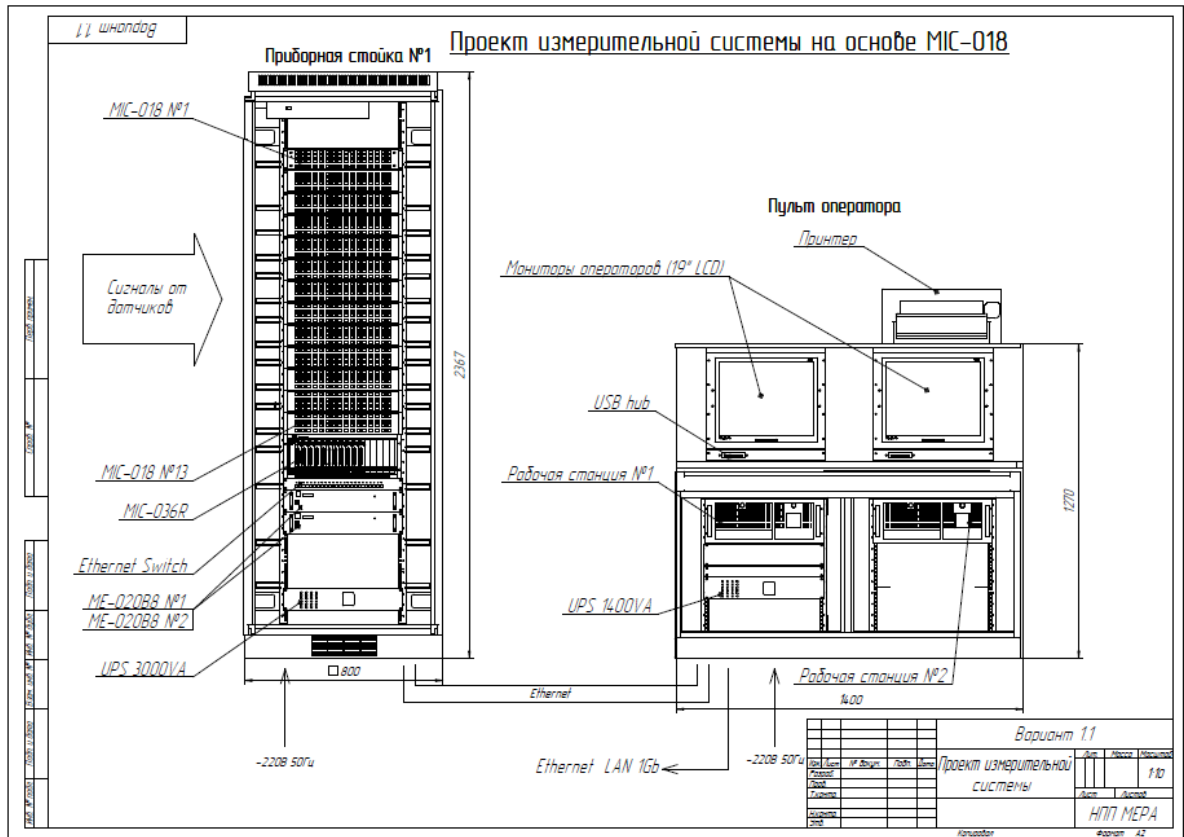


РИС.5

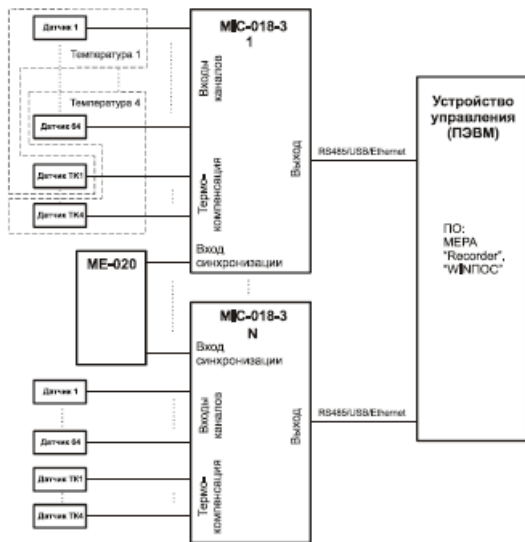
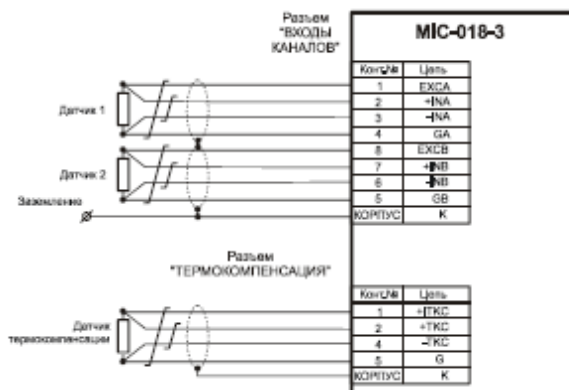


Рисунок 1—Схема многоканальной измерительной системы



Тензостанция MIC-018-03 (на 64 канала ¼ моста)



MC-227UP, модуль измерения относительного сопротивления с индивидуальной гальванической развязкой каналов



MC-212, модуль для работы с тензопотенциметрическими датчиками

РИС.6

Связь между измерительными серверами, расположенными в приборных стойках и удаленным рабочим местом оператора, осуществляется по сети Ethernet, используя OPC протокол обмена данными высокого уровня. Данный протокол является стандартом в области АСУТП. Протокол OPC поддерживается большинством SCADA пакетов, в том числе: LabView, Citect, iFix, Genesis, TraceMode.

Для обеспечения привязки измерительной информации к единой шкале времени используется модуль ME-020 формирования управляющих сигналов синхронизации комплексов МИС. Использование модуля синхронизации позволяет обеспечить синхронный старт регистрации всех измерительных комплексов МИС, проведение регистрации измерительной информации синхронно по всем каналам, без разрывов и сдвигов времени между каналами (рис.7).

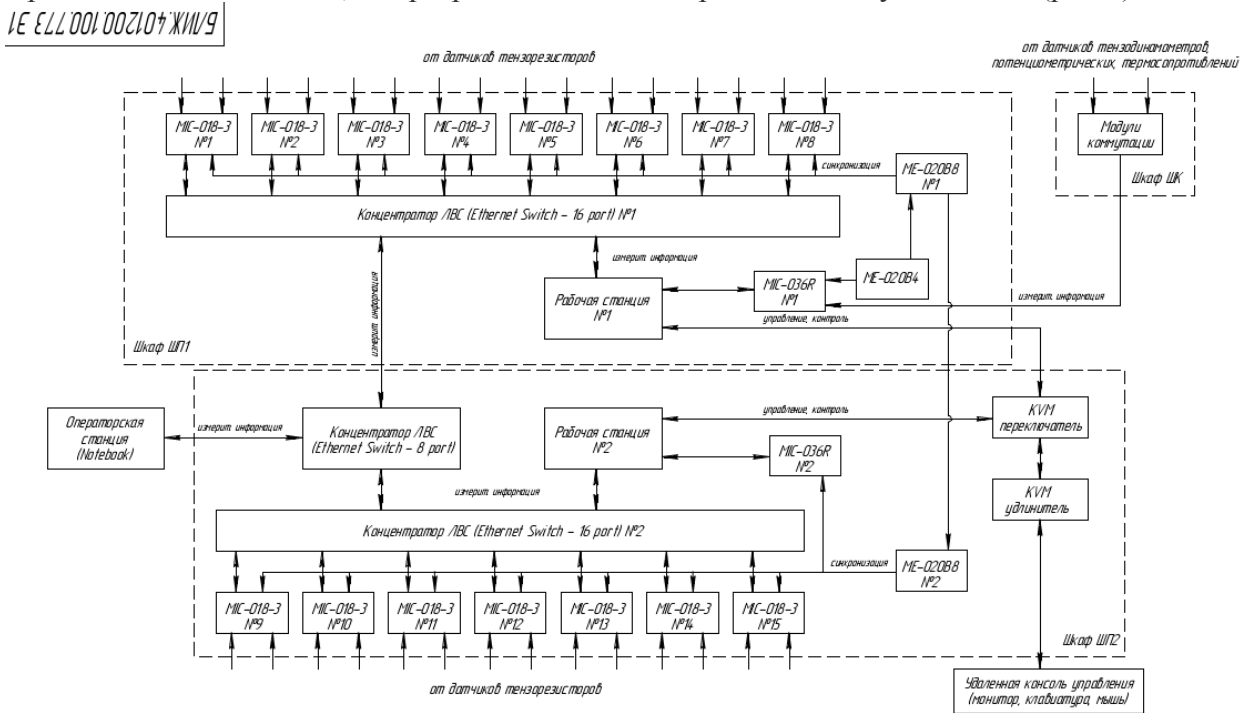


РИС.7

В процессе испытаний осуществлялись дистанционные измерения с регистрацией и последующей обработкой:

- внешних нагрузок на изделие,
- перемещений контрольных точек изделия,
- относительных деформаций поверхности изделия,
- внутреннего давления в нижней точке бака «О».

Измерение величин внешних нагрузок, передаваемых на конструкцию через силовые цепочки, осуществлялось с помощью датчиков силы растяжения TS21– 500 кН (50 тс).

Регистрация сигналов датчиков силы (7 шт) проводилась на аппаратуре регистрации МИС-036 четырехканальными модулями тензорегистрации МС-212 под управлением программы управления комплексами МИС ПО “Recorder”.

Измерения перемещений точек конструкции сборки при испытании на жесткость осуществлялись датчиками ВТ713-06 и ВТ718-05.

Количество датчиков перемещения – 45 шт.

Установка датчиков осуществлялась в соответствии со схемой установки датчиков перемещений. При записи в файл замеров использовались относительные измерения (относительно начального положения) в локальной системе координат (X, Y, Z).

Регистрация сигналов датчиков перемещений и обработка информации по результатам измерений проводилась на аппаратуре регистрации МИС-036 восьмиканальными модулями МС-227UP под управлением программы управления комплексами МИС “Recorder”.

Измерения внутреннего давления в нижней точке бака «О» осуществлялось потенциометрическим датчиком давления МД-10Т, с записью данных на аппаратуре регистрации МИС-



036 восьмиканальными модулями МС-227UP под управлением программы управления “Recorder”.

Типы используемых в составе комплекса КСИ модулей, количество измерительных каналов (ИК) в модуле, диапазоны измерения каналов и пределы допускаемых основной и дополнительной температурной приведенных (к диапазону измерения) погрешностей указаны в таблице 2

Таблица 2

Измеряемые величины	Тип модуля	Диапазон измерения	Кол-во каналов	Предел приведенной погрешности	
				основной	дополнительной
Напряжение от тензометрических датчиков	МС-212	±2 мВ/В ±4 мВ/В ±8 мВ/В ±16 мВ/В ±32 мВ/В	4	0,05%	0,05%
Относительные сопротивления потенциометрических датчиков	МС-227UP	500 ... 5000 Ом	8	0,075%	0,05%

В измерениях применялось следующее программное обеспечение:

- программа управления комплексами МИС “Recorder” БЛИЖ. 409801. 005-01;
- программное обеспечение “ОРС-сервер” БЛИЖ. 409801. 020-01;
- программный модуль “Криостатика-клиент” БЛИЖ. 409801. 021-01;
- программный модуль “Криостатика – сервер”;
- пакет обработки сигналов WinПОС professional БЛИЖ. 409801. 002-01.

Измерения проводились по аттестованным методикам выполнения измерений МВИ №1/778-09, №2/778-09, №3/778-09.

Измерения относительных деформаций поверхности изделия проводились с помощью тензорезисторов ЕВ-002 диапазона ±3000 ЕОД ( $10^{-6}$ =мкм/м). Тензорезисторы на изделие устанавливались в ГКНПЦ им.М.В.Хруничева».

Технические характеристики тензорезисторов ЕВ-002:

Диапазон измерений	мкм/м	
при статических нагрузках		±3000
при динамических нагрузках		±1000
Номинальное электрическое сопротивление	Ом	100 и 200
База тензорезистора	мм	10
Чувствительность в нормальных условиях		1,9-2,3
Максимальный рабочий ток питания	мА	30
Температурный режим	°С	-70/+120
Вибрационные ускорения	м/с <sup>2</sup>	980
Ударные ускорения	м/с <sup>2</sup>	6860
Масса	г	0,02

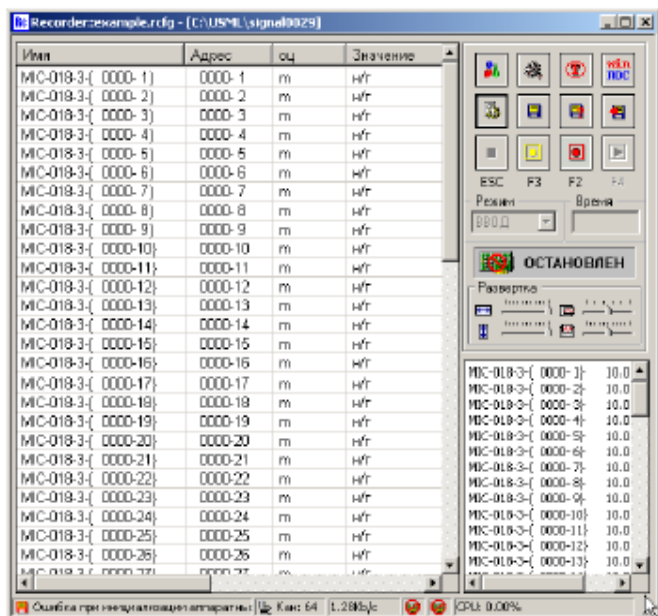
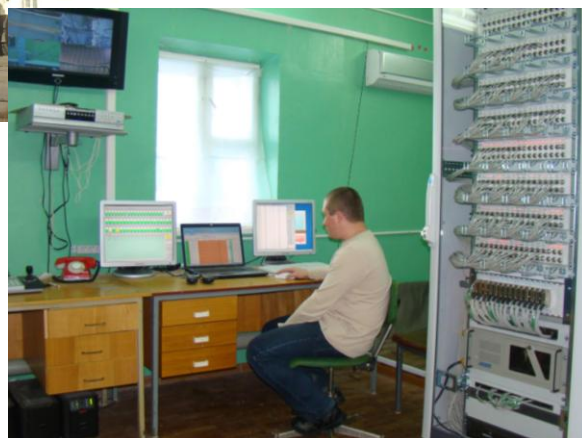
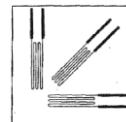


Деформация измеряется по данным относительного изменения сопротивления тензорезисторов (по отношению к идентичному термокомпенсационному тензорезистору, одному на группу измерительных, который находится в идентичных температурных условиях, имеет такую же длину кабельного подключения, но не испытывает механической деформации – они были изготовлены специально в «НИЦ РКП»). Каждая тензостанция МИС-018-03 имеет 4 канала для подключения термокомпенсационных тензорезисторов на 64 измерительных канала. Тензостанция МИС-018-03 имеет стабилизированный источник тока, который управляется программно и позволяет работать с тензосопротивлениями от 100 до 700 Ом (ряд 100,120, 200, 350 Ом). Так, например, для сборки №А13 в 2011 году планируется применение японских тензорезисторов, термокомпенсированных для криогенных температур номиналом R = 350 Ом.

Созданный комплекс статических измерений (КСИ) – современное аппаратно-программное решение задачи массовой тензометрии, которое может быть применено в испытаниях различных конструктивных сборок, как современных, так и перспективных элементов РКТ. Применяемое для управления комплексом программное обеспечение позволяет с помощью плагинов проводить его доработки для оптимального соответствия поставленной задаче. Например, в темпе проведения испытания рассчитывать суммарные нагрузки от разных силовых цепочек или рассчитывать механические напряжения и направления главных осей при обработке данных с тензорозеток.



позволяет с помощью плагинов проводить его доработки для оптимального соответствия поставленной задаче. Например, в темпе проведения испытания рассчитывать суммарные нагрузки от разных силовых цепочек или рассчитывать механические напряжения и направления главных осей при обработке данных с тензорозеток.



Деформации  
р.с. 3.2.1

