

ПРИБОР ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА ПОТЕНЦИАЛА НА КОРПУСА НА МКС: АПАРАТУРА И ПЪРВИ РЕЗУЛТАТИ

Славейко Нейчев¹, Станислав Климов², Ангел Анев³, Несим Барух⁴, Людмила Белякова²,
Алла Беликова², Ани Бонева⁵, Анна Бузекова¹, Дичко Бъчваров⁵, Георги Галев¹,
Валерий Грушин², Мариана Захарина¹, Иван Иванов¹, Олга Лапшина⁶, Румен Недков¹,
Денис Новиков², Валентин Мягих², Павлин Граматиков¹, Владимир Осипов⁶,
Георги Станев¹, Димитър Теодосиев¹, Людмила Тодориева¹

¹ИКИТ-БАН, България

²ИКИ-РАН, Русия

³ОРТ, България

⁴ЕЛЛ-Сливен, България

⁵ИКИТ-БАН, България

⁶РКК ЕНЕРГИЯ, Русия

Ключови думи: Международната космическа станция, свръхголеми космически изкуствени обекти, датчик на потенциала (ДП1 и ДП2), слънчева и геомагнитна активност

Резюме: Обстановката в близост до свръхголеми космически изкуствени обекти, каквато е Международната космическа станция, е все още недостатъчно изучен. За комплексното ѝ изследване е предназначен експериментът ОБСТАНОВКА (Първи етап), който е монтиран на повърхността на ЗАРЯ (руския сегмент на МКС). Приборът ДП е предназначен за изследване на зареждането на Руския сегмент на МКС. Два идентични прибора (ДП1 и ДП2) са част от приборния състав на блоковете Плазменовълнов комплекс 1, 2 (ПВК1 и ПВК2). Предвидено е да бъде изследвана динамиката на потенциала в зависимост от слънчевата и геомагнитната активност, дейността на космонавтите, особено по време на работата им на повърхността на станцията, корекциите на орбитата на МКС и скачването и разкачването на космическите кораби с МКС.

DEVICE FOR MEASUREMENT OF SPACEKRAFT POTENTIAL OF ISS – EQUIPMENT AND FIRST RESULTS

Slaveyko Neychev¹, Stanislav Klimov², Angel Anev³, Nesim Baruh⁴, Lyudmila Belyakova²,
Alla Belikova², Ani Boneva⁵, Anna Buzekova¹, Dichko Buchvarov⁵, Georgi Galev¹,
Valeriy Grushin², Mariana Zaharinova¹, Ivan Ivanov¹, Olga Lapshina⁶, Rumen Nedkov¹,
Denis Novikov², Valentin Myagkih², Pavlin Gramatikov¹, Vladimir Osipov⁶, Georgi Stanev¹,
Dimitar Teodosiev¹, Lyudmila Todorieva¹

¹SRTI-BAS, Bulgaria

²SRI-RAS, Russia

³ORT, Bulgaria

⁴ELL - Sliven, Bulgaria

⁵IICT - BAS, Bulgaria

⁶RSK ENERGIA, Russia

Abstract: The situation around big space objects such as the International Space Station (ISS) is not yet fully studied. "OBSTANOVKA" (first stage) equipment is designed for complex investigation of this environment. It is mounted on the Russian segment "ZARYA". The DP device is intended to measure the charging of the Russian segment of ISS. There are two identical devices (DP1 and DP2) which are part of the plasma-wave complexes 1 and 2 (PWC1 and PWC2). It is intended to study the potential dynamics depending on the solar and geomagnetic activity, the activity of the astronauts, especially during their work outside the station, ISS orbit corrections and docking and undocking of spacecrafts to the ISS

Постановка задачи

Существующие модели взаимодействия космических аппаратов с окружающей плазмой разработаны и применимы к телам с размерами не более нескольких метров. Международная Космическая Станция многократно превышает этот размер, к тому же очевидна тенденция его дальнейшего увеличения. Из-за этого не ясно насколько корректно применение существующих моделей и поэтому прямые измерения на борту МКС особенно необходимы. Исследование причинно-следственных связей параметров в окрестности МКС с солнечной и геомагнитной активностью являются тоже частью программы „Космическая пагода”. Это связано с обеспечением необходимых жизненных условий для космонавтов как в станции, так и особенно на ее поверхности, что исключительно важно при выходе оператора на поверхность в открытый космос.

Наличие различных высокочастотных устройств приводит к возможности генерирования волн и колебаний, а также и к турбулентности в окрестности МКС. Через механизмы взаимодействия типа волна-частица и волна-волна, высокочастотные воздействия могут трансформироваться в низкочастотные и даже крайненизкочастотные такие, которые влияют значительно на человеческий организм. Исследования, относящиеся к низкочастотным и квазистатическим характеристикам в окрестности МКС в зависимости от работы радиопередающих устройств и плазменных излучателей, и есть одна из задач прибора ДП.

Хотя исследование характеристик плазмы в областях ионосферы, где лежит орбита МКС, имеет десятилетнюю историю, существует ряд проблем, которые не нашли удовлетворительного объяснения. Например, все еще есть нерешенные проблемы, связанные с экваториальным фонтан-эффектом и его динамикой, определяющейся солнечно-земными связями. Кроме того, развитие методики зондовых методов в последнее время, дает возможность в ряде случаев использовать результаты, полученные при измерении электрических полей, для определения таких параметров, которые типичны для классических зондовых приборов, как, например, концентрация. Из-за этого, использование такого прибора для измерения потенциала, как прибор ДП, необходимо при комплексном исследовании параметров плазмы.

При исследовании плазмы зондовыми приборами изучается зависимость суммы собираемых зондом токов в зависимости от потенциала и по отношению к плавающему потенциалу зонда. Эти токи включают также и фототок, который зависит в основном от использованных конструктивных материалов.

Поэтому, качества поверхности зонда влияют в значительной степени на точность измерений. Разработанные методы и средства минимизации этих влияний не учитывают изменений (деградацию), наступивших после длительного влияния околоземной плазмы - потоки энергетических электронов, ультрафиолетовое излучение и др., т.к. до сих пор такие исследования не проводились. Измерение изменений поверхностных свойств материалов, используемых в космическом приборостроении, будут проводиться на образцах до и после пребывания ДП-ПМ на поверхности станции, как и на аналогичных референтных образцах, которые будут деградировать в лабораторных условиях. Такие исследования проводятся впервые в области научных исследований.

Назначение ДП состоит в измерении потенциала корпуса международной космической станции МКС.

Разработка ДП проводилась в соответствии с требованиями ИТТ КНЦ РС МКС.

Характеристики ДП

Измерение разности потенциалов между чувствительным элементом и корпусом МКС является основной научной задачей прибора ДП. Это позволяет изучать физические явления, связанные с процессами изменения электрического заряда МКС и временными вариациями электрического потенциала. Наличие двух идентичных приборов ДП, установленных на расстоянии порядка 2 м друг от друга, позволяет осуществить измерение пространственных характеристик электростатического потенциала в окрестностях станции МКС. Сверхбольшие размеры МКС предполагают и механизмов заряжения космического объекта, отличных от наблюдаемых и исследованных до сих пор на обычных спутниках. Из-за этого, а также и из-за перемен в конфигурацию космического тела (стыковка и расстыковка с другими космическими аппаратами), можно ожидать высокие значения потенциалов.

Назначение ДП в составе комплекса ПВК состоит в обеспечении измерения потенциала корпуса в ближней зоне (не далее 3 м от поверхности) МКС.

- величины разности потенциалов между чувствительным элементом и корпусом станции МКС в диапазоне ± 100 В в частотном диапазоне от 0 до 500 Гц в секунду и порогом чувствительности по потенциалу не более 3.125 мВ;
- величины разности потенциалов между двумя чувствительными элементами в диапазоне ± 200 В в частотном диапазоне от 0 до 500 Гц в секунду и порогом чувствительности по потенциалу не более 3.125 мВ. Эта величина получается считывая одновременно или в очень близких моментах показания обоих приборов ДП.

ДП позволяют оценить импеданс переходного слоя системы зонд-плазма на поверхности МКС.

ДП обеспечивает измерения следующих физических величин в окрестности МКС:
Таблица 1.1.

ТАБЛИЦА 1.1.

Физическая величина	Измеряемые характеристики	Измерительное устройство
Измерение потенциала корпуса МКС	Диапазон измеряемых потенциалов: от -100 В до $+100$ В Диапазоны частот $0 - 500$ Гц Порог чувствительности $- 3.125$ мВ	ДП-ПП: первичный преобразователь ДП-ВП: вторичный преобразователь
Измерение потенциальной разности между двумя зондами	Диапазон измеряемых потенциальных разностей: от -200 В до $+200$ В Диапазоны частот: $0 - 500$ Гц Порог чувствительности $- 3.125$ мВ	ДП-ПП: первичный преобразователь ДП-ВП: вторичный преобразователь
Измерение величины фототока и его распределение	Величина работы выхода электрона в диапазоне $4.5 - 5.5$ эВ (вышеуказанная характеристика измеряется на Земле)	ДП-ПМ: Блок для исследования поверхностных свойств материалов
Исследование физико-механических характеристик образцов	Прочность на растяжение Микротвердость	ДП-ПМ: Блок для исследования поверхностных свойств материалов

ДП – Состав

ДП эксперимент состоит из двух идентичных приборов ДП. Каждый из них содержит сенсор - электронный преобразовательный блок ДП-ПП (Первичный Преобразователь) и электронный блок ДП-ВП (Вторичный преобразователь). Из-за этого маркировка на двух комплектах блоков ДП-ПП и ДП-ВП одинакова (исключая серийных номеров). В составе одного из приборов ДП (ДП 1) включен и блок ДП-ПМ. Каждый из блоков ДП-ПП установлен на шКВД1 и шКВД2. Оба блока ДП-ВП устанавливаются внутри соответствующего блока комбинированной волновой диагностики комплекса ПВК - КВД1, КВД2, расположенных на внешней поверхности служебного модуля РС МКС на расстоянии порядка 2м друг от друга. Оба прибора ДП разработаны для независимой и непрерывной работы, а также и для изучения способов взаимодействия МКС с нейтральной и заряженной компонентами окружающей среды, что особенно важно при формировании МКС, так как структура МКС изменяется периодически. На поверхности блока КВД1 устанавливается блок исследования поверхностных свойств ДП-ПМ, который представляет механическую конструкцию для экспозиции, сохранения и транспортировки образцов. Блок ДП-ПМ прикрепляется космонавтом к одной из сторон КВД1 при помощи "Велкро".

Масса прибора ДП

Общая масса прибора ДП **не более 1.525 кг** (без футляра датчика) и **1.625 кг** (с футляром датчика), при этом масса отдельных блоков:

ДП-ПП: **не более 300 г** (без футляра);

ДП-ПП: **не более 400 г** (с футляром);

ДП-ВП: **не более 0.8 кг**;

ДП-ПМ: **не более 0.32 кг**;

Кабели связи блока ДП-ВП с блоком ДАКУ:

Д1 - предназначен для блока ПВК1:

длина **не более 850±10 мм.**, масса **не более 150 г**;

Д2 - предназначен для блока ПВК2:

длина **не более 550±10мм.**, масса **не более 100 г**;

Блок ДП-ПП

Блок ДП-ПП состоит из зонда (чувствительный элемент) и из расположенных в нем внутри разборной проводящей коробки, которая используется как эквипотенциальный экран: высоковольтный буферный усилитель, система относительного управления потенциала защитного электрода и элементы выходного делителя. Зонды прибора ДП это сферические разборные конструкции диаметром 80 мм. Полусферы изготовлены из графита и покрыты стеклоуглеродным покрытием, которое обеспечивает минимальные вариации величины работы выхода электрона по всей поверхности зондов. Стеклоуглеродное покрытие сделано в ИКИ-БАН на основе технологии, которая разработана в БАН.

Для обеспечения вблизи сферы сферическо-симметрического распределения потенциала монтирован Симметрирующий электрод (СЭ), к которому буферный электрод подает потенциал, равный зондovому. Симметрирующий электрод (СЭ) изготовлен из титаново-алюминиевого сплава ВТЗ.

Для уменьшения влияния тока низкоэнергетических электронов, которые идут с поверхности станции, проводящая часть между симметрирующим электродом и крепежным элементом несущей штанги представляет Защитный Электрод(ЗЭ), к которому программно подаются значения потенциала 0 В, -3.5 В и -7 В по отношению потенциала сферы. Защитный электрод (ЗЭ) изготовлен из алюминиевого сплава Д16А.

Блок ДП-ВП

Блок ДП-ВП состоит из:

- плата ВИП, обеспечивающая электропитание всего прибора ДП;1408
- плата аналоговой обработки и квантования входных сигналов;
- микрокомпьютерная плата.

Основные конструктивные характеристики блока электроники ДП-ВП показаны на Рис. 1.3. Потребляемая мощность прибора ДП не более 2.2 Ват. Время готовности к работе после включения питания не более 5 сек. Напряжение питания 28,5+0,5-5,5 на ДП подается через ДАКУ1,2, которые по командам из БХТИ осуществляют коммутацию напряжений питания на научные приборы блоков КВД1,2.

Пиковое значение пускового тока = 0.35А для Увх (Убортсеть) в диапазоне 17-36 В, что означает, что эти значения относятся ко ВСЕМУ диапазону. Время пускового процесса тпуск = 3÷ 5 мсек. Величина тока срабатывания защиты **Iз = 0.35 А**. Защита выключает ВИП после 70 мсек тока.

Аналоговая плата блока ДВ-ВП обеспечивает:

- питание буферного усилителя БУ в диапазоне +/- 100 В;
- питание ДП-ПП в диапазоне +/- 5 В;
- преобразование аналогового сигнала в цифровом виде, поступающего от ДП-ПП.

Цифровая плата блока ДВ-ВП обеспечивает:

- управление и контроль обмена информации с блоком ДАКУ;
- предварительная обработка цифрового сигнала с использованием цифровой фильтрации;
- подготовка цифрового сигнала для передачи измеренных данных к блоку ДАКУ при помощи программно-реализованного управляемого низкочастотного фильтра;
- подготовка информации для передачи к блоку ДАКУ в соответствии с протоколом

принятого протокола обмена информации;

- передача данных после обработки (цифровой фильтрации) с целью уменьшения объема передаваемой информации;
- реализация выбора Времени интервала фильтрации определяется через команду, поданную от ДАКУ. Описание соответствующих команд и параметров к ним дано ниже
- управление работы блока ДП-ВП для выработки напряжения ЗАЩИТНОГО электрода. (0 В, -3.5 В, -7 В)
- слежение индикации о перегрузке по току от ЗЭ;
- управление работы прибора ДП во время наземной работы.

Прибор ДП измеряет и передает информацию о потенциале корпуса МКС в следующие информационные режимы (количество измерений за секунду):

- Быстрый: 200;
- РАБОЧИЙ: 100, 50, 20, 12.5;
- БАЗОВЫЙ: 10, 8, 4, 2, 1.25;
- МЕДЛЕННЫЙ: 1, 0.8, 0.5;
- ДЕЖУРНЫЙ 0.33.

Блок ДП-ПМ представляет контейнер из алюминиевого сплава В95Т с габаритными размерами 185x70x10 мм. Во внутренности контейнера расположены следующие типы образцов:

- 8 шт. из графита с покрытием из стеклоглассера (30x15x8 мм);
- 10 шт. цилиндрические из модификации алюминиевых сплавов (70мм и max Ø 7 мм);
- 4 шт. из модификации алюминиевых сплавов (22x15x4.5 мм).

С целью экспонирования образцов, контейнер укрепляется космонавтом (без защитной крышки) к поверхности блока КВД1 посредством „Велкро“. После простоя из не меньше 6 (шести) месяцев на поверхности КВД1 в условиях околоземной орбиты, блок ДП-ПМ подлежит возврату на Землю для дальнейших исследований и должен быть передан в ИКИ РАН (ИКИ БАН).

Первые результаты прибора ДП

Из-за некоторых организационных проблем обработка данных прибора ДП (ДП1 и ДП2) эксперимента “ОБСТАНОВКА Первый этап” на борту Международной космической станции началась с некоторым опозданием. Из-за этого все еще не обработана вся информация с прибора во время натурных испытаний.

1. Характерный вид получаемой информации после первичной обработки выглядит следующим образом:

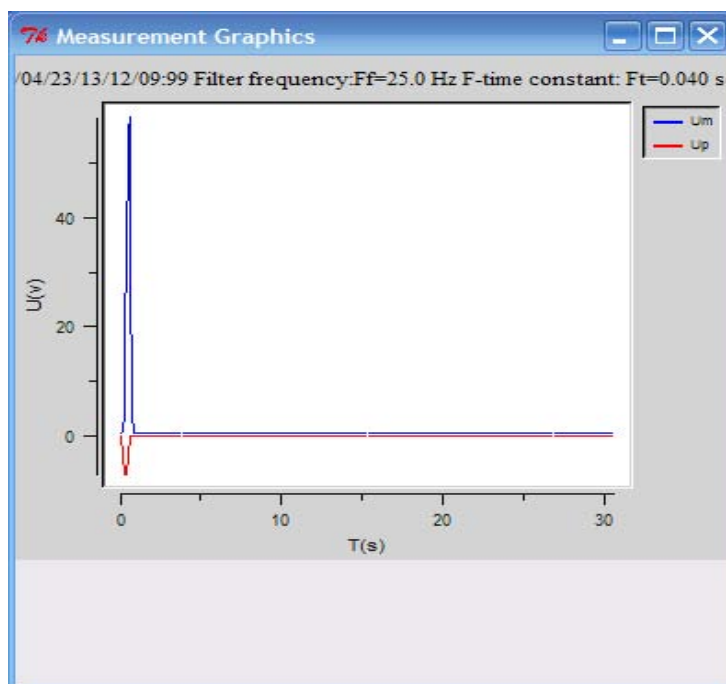


Рис. 1

Синяя кривая показывает измеряемый потенциал, а красная – подаваемое напряжение на охранный электрод. Показан набор измерений продолжительностью ~30 сек, после чего следует подача напряжения на охранный электрод с заданной частоты. В верхнем ряду записаны: время измерения, частота измерения (filter frequency) и соответствующее временное разрешение. В показанном примере реализовано 25 измерений за секунду. Значение потенциала, показанное прямой линией, есть 0.61 В и это значение сохраняется во время всех таких же измерений - вероятно это “нулевое/ноль?” значение прибора ДП1. Замечается смещение реакции измеряемого потенциала по отношению к подаваемому напряжению на охранный электрод, связанное с использованием рекуррентного фильтра в приборе.

Существует отставание в реакции измерения потенциала по отношению к напряжению охранный электрода.

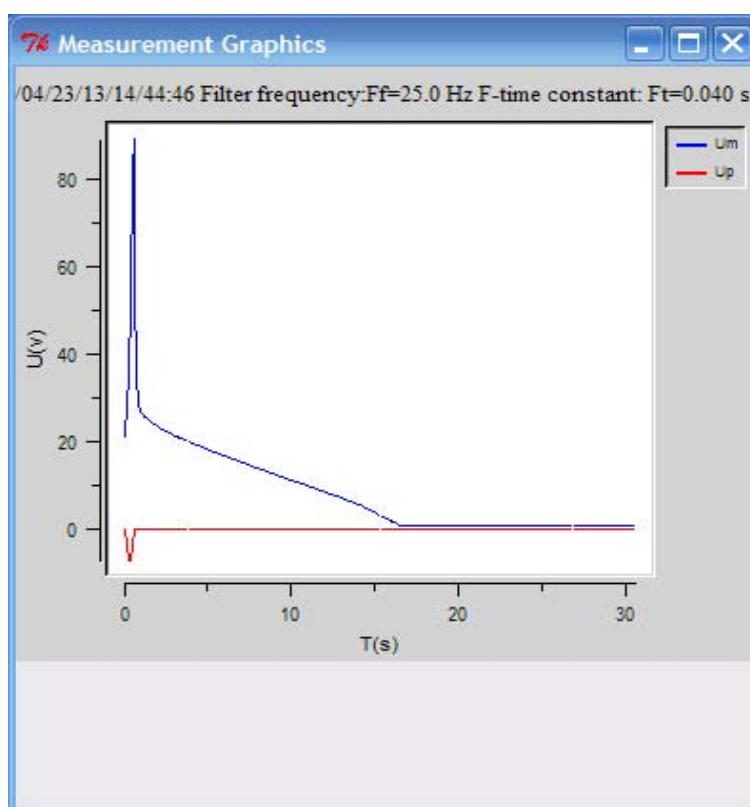


Рис. 2

Из рис. 2 видно, что достижение "нулевого уровня" (0,61 В) происходит в течение очень длительного промежутка времени (~ 17 сек.), что связано с физическими причинами. Для обсуждения этого явления необходимо иметь значительно больше информации от ДП, а также и привлечение синхронной информации с других приборов эксперимента “Обстановка”, как и информацию о работе самой станции.

2. В ряде случаев происходит изменение в значении потенциала при нулевом напряжении охранный электрода. На Рис.3 и Рис.4 показаны два таких случая, когда был измерен потенциал, достигающий 20 В, в течении десятков секунд (для измерения на Рис.4 это больше 25 сек.). Этот результат весьма неожиданный, так как предполагалось, что такие большие значения потенциала нельзя наблюдать за такой длительный период времени, который дольше времени ионно звуковых колебаний. Очевидно, что анализ и интерпретация этих результатов потребует значительных дополнительных сведений о приборах эксперимента “Обстановка”, о геомагнитной обстановке и о работе самой станции.

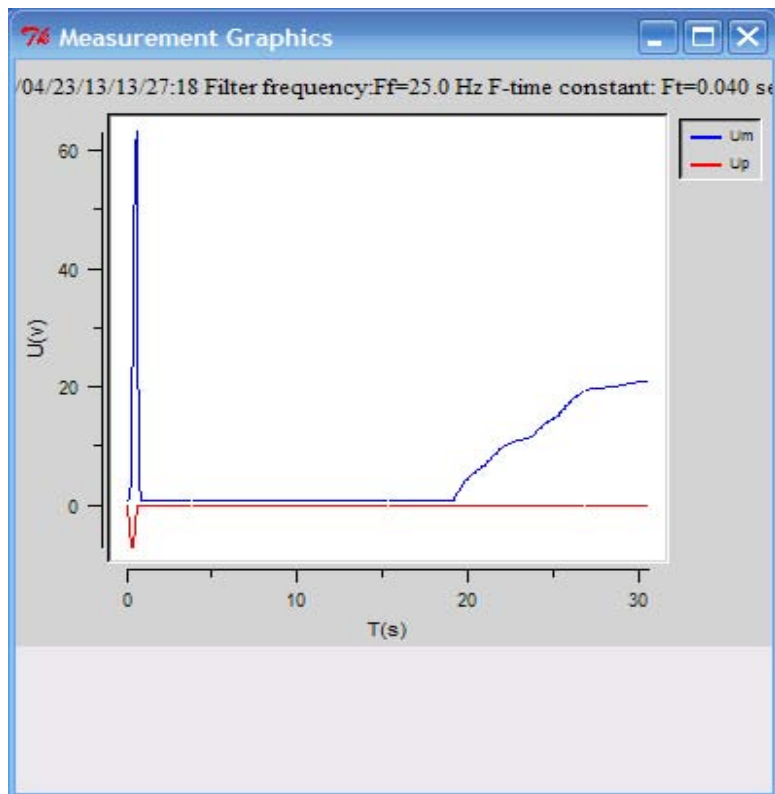


Рис. 3

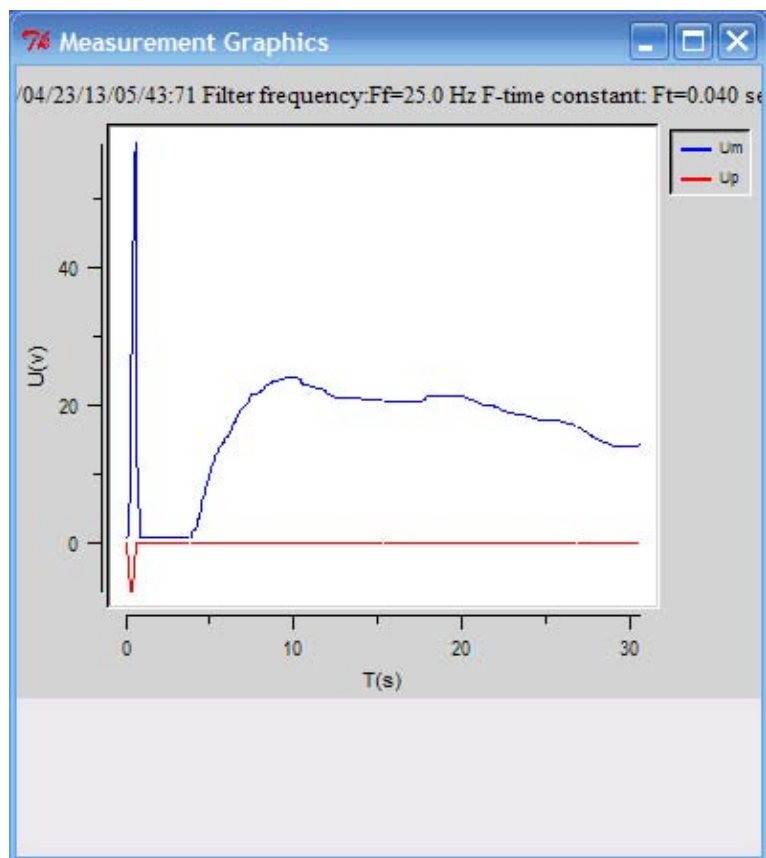


Рис. 4

3. Подобные результаты, как от вышеуказанных измерений, но с

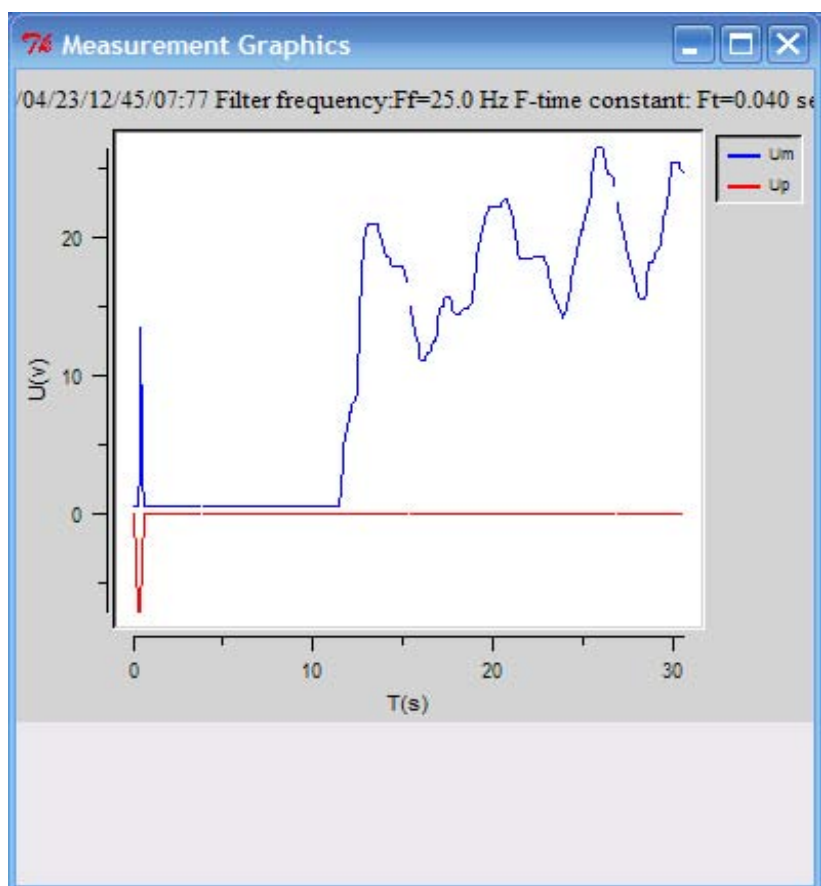


Рис. 5

серией локальных максимумов и минимумов, показаны на рис. 5. Наибольшее значение измеренного потенциал составляет примерно 27 В, а период квазиколебаний есть порядка 5 секунд. В этом случае, есть еще одна особенность: тогда как в других случаях измеренный потенциал при напряжении -7,5 В охранного электрода есть более чем 40 В (тот на рис. 2 есть больше чем 80 В), то при измерении, показанном на рис.5, этот потенциал не достигает и 15 В. Это делает измеренного потенциала на локальном максимуме (25_й сек) тем неожиданнее и требует дальнейшего исследования и анализа.

4. Другой наблюдаемый результат показан на рис. 6. При подаче на охранном электроде напряжения -7.5 В сферический зонд измеряет положительный потенциал порядка 100 В, после чего следует переключение на отрицательный потенциал, тоже порядка 100 В и снова возвращение в области положительных значений. Скорее всего, это происходит из-за аппаратных эффектов: достижение максимального значения измерений и переключение на другой диапазон. Есть несколько аналогичных результатов и для их понимания необходимы дополнительные исследования, а может быть и моделирование работы прибора.

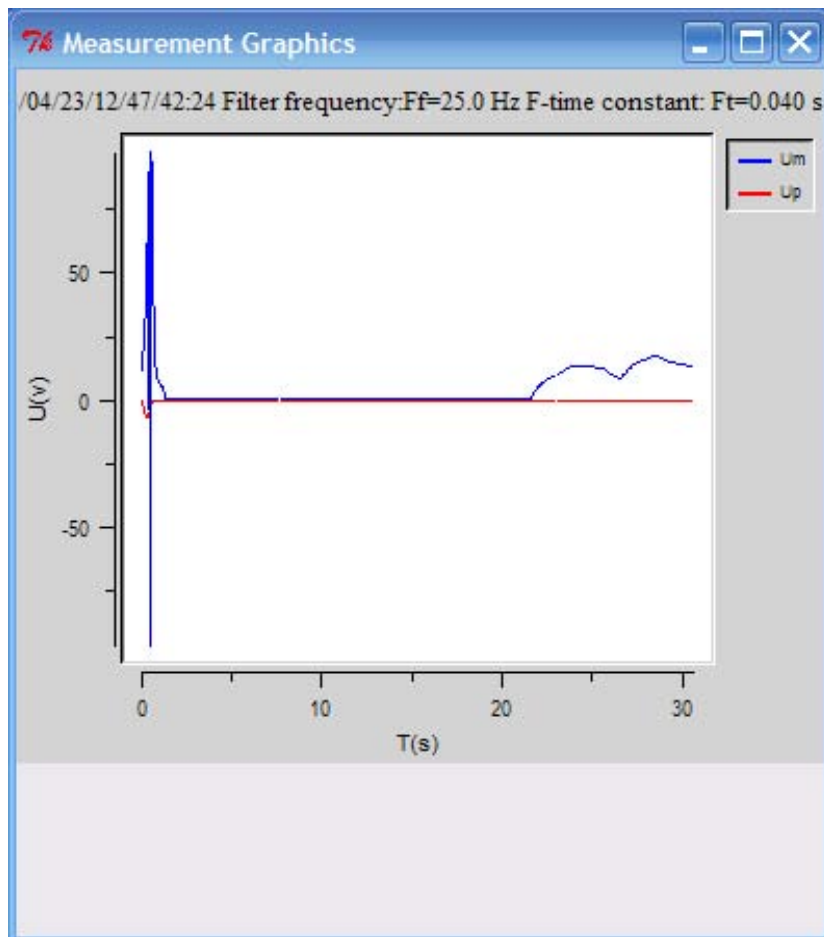


Рис. 6

5. Показанные результаты дают основание уверенно утверждать, что прибор ДП эксперимента "Обстановка – первый этап" на борту Международной космической станции работает и дает полезные научные данные. Для анализа полученной информации необходимо продолжать делать первичную обработку данных прибора ДП, привлекать дополнительную информацию о данных и работе других приборов, входящих в комплекс эксперимента "Обстановка – первый этап", как и о работе и деятельности на борту Международной космической станции.