

ЗАГАДКИ ЛУННОЙ ПЫЛИ

СТАНЦИЯ «ЛУНА-25»
ИЗУЧИТ ОСОБЕННОСТИ
МЕЛЬЧАЙШИХ ЧАСТИЦ
ГРУНТА



ПЛАНИРУЕМЫЙ ЭТИМ ЛЕТОМ ЗАПУСК АВТОМАТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «ЛУНА-25» ЯВЛЯЕТСЯ НЕ ТОЛЬКО И ДАЖЕ НЕ СТОЛЬКО СИМВОЛИЧЕСКИМ ЖЕСТОМ, ЗНАМЕНУЮЩИМ ВОЗВРАЩЕНИЕ НАШЕЙ СТРАНЫ К ПОЛЕТАМ НА ЕСТЕСТВЕННЫЙ СПУТНИК ЗЕМЛИ ПОСЛЕ 46-ЛЕТНЕЙ ПАУЗЫ. АМБИЦИОЗНАЯ НАУЧНАЯ ПРОГРАММА МИССИИ В СЛУЧАЕ УСПЕХА ПОЗВОЛИТ ПОДНЯТЬСЯ НА КАЧЕСТВЕННО НОВЫЙ УРОВЕНЬ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ЛУНЫ.

Лев ЗЕЛЁНЫЙ, Александр ЗАХАРОВ*

Лунная пыль является самой загадочной и коварной из всех известных особенностей лунной среды. В ходе пилотируемой программы Apollo (1969–1972 гг.), которая была оценена как «поразительно успешная», американские астронавты были немало озадачены агрессивным воздействием лунной пыли. Все двенадцать человек, высаживавшихся на Луну – от Нила Армстронга до Юджина Сернана, – отмечали проблемы, создаваемые мелкими и всепроникающими частицами.

При подготовке каждой экспедиции предпринимались попытки учесть воздействие пыли, однако решение, как нейтрализовать или хотя бы минимизировать ее влияние, найдено так и не было. Наиболее емко свою реакцию выразил командир Apollo 17 Юджин Сернан, написав в отчете: «Я думаю, что пыль является одним из основных ограничителей планируемой работы на Луне. Вероятно, мы можем преодолеть другие физиологические, физические или механические проблемы, кроме пыли».

СИГНАЛ ОТ ОТРАЖАТЕЛЕЙ ВСЕ СЛАБЕЕ

Негативное воздействие лунной пыли на приборы было зафиксировано еще в начале 1970-х годов. На советском «Луноходе-2» был установлен отражатель лазерного луча для высокоточного измерения расстояния от Земли до ее естественного спутника. Аналогичные приборы устанавливались и астронавтами NASA на поверхности Луны. За 40 лет работы этих систем сигнал, отраженный от лазерного отражателя, установленного по программе Apollo, стал слабее в десять раз. Сигнал от лазерных отражателей «Лунохода-2» вначале был на порядок выше, чем у Apollo 14, но через 40 лет и его уровень стал значительно ниже.

Такое ослабление отражательной способности приборов можно объяснить не только осаждением на них лунной пыли, но и микрометеоритной бомбардировкой.

ПЫЛЕВОЙ ШТОРМ

Другим источником информации о влиянии Луны на системы космических аппаратов стало исследование деталей автоматической станции Surveyor 3, прилунившейся 20 апреля 1967 г. Все-

Ученые обнаружили интересное свойство лунной пыли: она имеет очень низкую электропроводность в тени и многократно увеличивается при нагреве Солнцем.

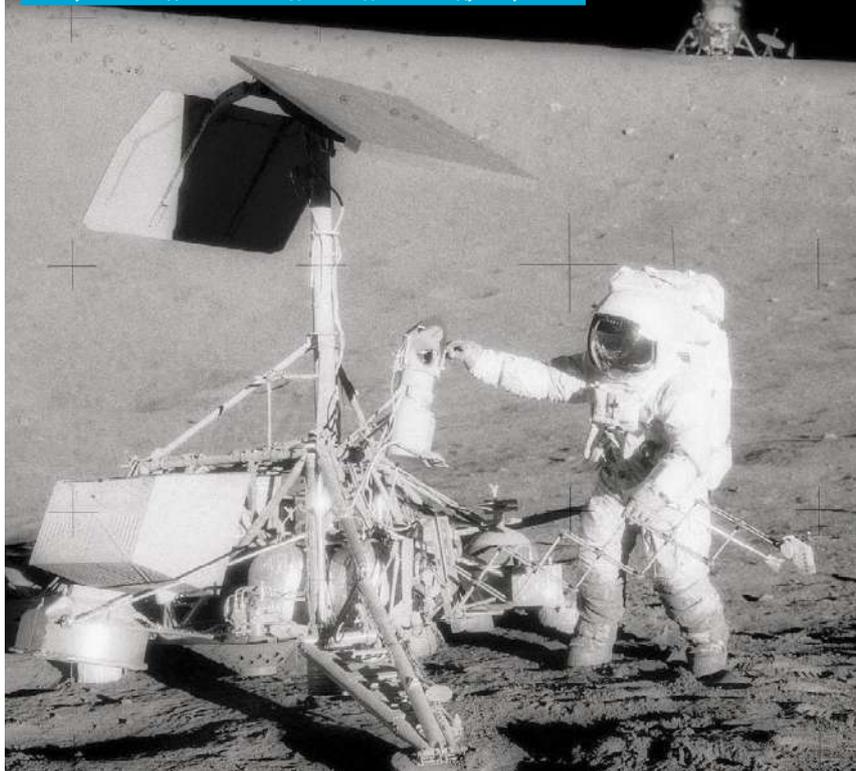
ФАКТОРЫ ОБРАЗОВАНИЯ ПЫЛИ

Поверхность Луны подвержена постоянной бомбардировке микрометеоритами, воздействию солнечного излучения, потоков плазмы солнечного ветра, космических лучей и других факторов космического пространства. Эти процессы вызывают «космическое выветривание» грунта, которое приводит к формированию и химической эволюции лунного реголита, распылению поверхностного слоя, а также формирует электрические свойства поверхности и приповерхностной экзосферы. Кроме того, эти процессы влияют на ее состав и в значительной степени приводят к изменению рельефа.

Внешние факторы по своему физическому воздействию на поверхность могут быть сгруппированы в две категории:

1. Случайные удары микрометеоритов о поверхность.
2. Воздействие на поверхность электромагнитного излучения Солнца и окружающей плазмы.

Астронавт Чарлз Конрад у автоматического посадочного аппарата Surveyor 3. На заднем плане виден посадочный модуль Apollo 12



* Институт космических исследований РАН.



Образцы лунной пыли, доставленные на Землю миссией Apollo 11

го через 2.5 года, в ноябре 1969 г., лунный посадочный модуль Apollo 12 сел на поверхность неподалеку от Surveyor'a. Астронавты Чарлз Конрад и Алан Бин сняли с него около десяти килограммов различных деталей, в том числе телекамеру, и вернули на Землю.

По результатам лабораторных исследований было обнаружено обесцвечивание поверхностей деталей. Практически все открытые части камеры были покрыты слоем лунной пыли. Детальный анализ показал, что мелкие частицы осели на Surveyor при его посадке, а также при прилунении посадочного модуля Apollo 12. Было отмечено, что наличие пыли, даже в очень малых количествах, может существенно повлиять на

датчики температуры и оптические характеристики оборудования на поверхности Луны.

Впрочем, анализ состояния лазерных отражателей при длительной экспозиции (несколько десятилетий), а также служебных систем Surveyor 3 после пребывания на поверхности Луны (2.5 года), показал, что в естественных природных условиях пыль не оказывает существенного влияния на чувствительные участки и состояние инженерных систем посадочных аппаратов.

Ситуация существенно меняется в худшую сторону при воздействии человека на лунную среду. В отчетах экспедиций Apollo отмечалось: перенос пыли, связанной с деятельностью астронавтов, может быть на несколько порядков [в 100 и более раз] выше, чем перемещение пыли в результате естественных природных процессов. Например, лунную пыль с поверхности поднимают: потоки газов работающих двигателей при посадке и взлете, передвижение астронавтов или ровера, активность робототехнических систем. В этом случае в дополнение к естественной добавляется еще и «сопутствующая пыль» (collateral dust), которой на несколько порядков больше.

Опыт показал, что серьезные работы на поверхности Луны могут быть очень опасны как для астронавтов, так и для служебных систем посадочных аппаратов, а также используемого оборудования.

СЕРЬЕЗНАЯ ПОМЕХА

Изучение результатов деятельности шести экипажей Apollo на поверхности Луны выявило девять последствий воздействия пыли на человека и оборудование:

- ① ухудшение видимости при поднятии пыли;
- ② ложные показания приборов (например, высотомеров при посадке);
- ③ осаждение пыли и загрязнение поверхностей;
- ④ ухудшение сцепления с грунтом при движении по поверхности (пробуксовка);
- ⑤ заклинивание вращающихся узлов механизмов;
- ⑥ активная эрозия поверхностей;
- ⑦ проблемы с системой терморегулирования (нарушение теплообмена);
- ⑧ нарушение уплотнений и герметичности систем;
- ⑨ проблемы с дыханием и другие факторы, связанные со здоровьем человека.

В ПЫЛЕВОЙ ЗАВЕСЕ

Впервые с проблемой ухудшения видимости столкнулись астронавты во время посадки при работающих двигателях лунного модуля «Орел» в ходе экспедиции на Apollo 11. При снижении на высоте приблизительно 30 метров от поверхности поднялось облако пыли, которое не оседало, а становилось все плотнее по мере снижения. Из-за ухудшения видимости возникла угроза, что лунный модуль ударится опорой о крупный камень или упадет в небольшой кратер. Это могло обернуться катастрофой. Нил Армстронг в ручном режиме прекратил снижение, отвел лунный модуль от пылевого облака и оперативно посадил его на появившуюся неподалеку плоскую поверхность.

Для посадки следующих модулей в экспедициях Apollo 14, 15 и 16 траектория прилунения

стала более крутой. Вместе с тем это осложнило выбор astronautами места посадки.

С пылью был связан и факт ложных показаний датчиков контроля снижения на лунных модулях кораблей Apollo 12 и 15, которые возникли опять же из-за облака взвеси, поднятого работающим двигателем.

«ПРОБЛЕМА НОМЕР ОДИН»

Лунная пыль оказалась необычно абразивной. Astronautы отмечали, что после работы на открытом пространстве циферблаты приборов и солнцезащитные козырьки скафандров оказывались настолько исцарапаны, что невозможно было считывать показания. После восьми часов работы, особенно при бурении грунта, скафандры и перчатки имели значительные потертости, и у astronautов возникли опасения, что они могут потерять герметичность. Так, в скафандре Пита Конрада незначительно, но неизменно снижалось давление во время каждого из двух выходов на поверхность Луны в ходе миссии Apollo 12.

Кроме того, лунная пыль, проникая в подвижные узлы скафандра, привела к таким большим затруднениям в движении, что не позволила бы сделать третий, дополнительный выход. А застегивание типа «молния» на скафандрах после работы вне посадочного модуля невозможно было пользоваться.

Абразивные свойства лунной пыли повлияли и на научные исследования. По этой причине герметичность ампул с образцами лунной экзосферы, доставленных на Землю для анализа, была нарушена. В них попала атмосфера из отсеков корабля, и все они оказались бесполезными.

В ходе работы astronautов было обнаружено, что поднятая ими пыль быстро покрывает все предметы, включая скафандры, обувь, ручной инструмент, оборудование и системы лунного модуля. Попытки как-то это очистить оказались тщетными. Кроме того, осаждение пыли приводило к таким неприятным эффектам, как заклинивание движущихся узлов механизмов. Серьезные проблемы вызывал и слой частиц на поверхности радиаторов систем терморегулирования. Их запыление приводило к тому, что рабочая температура некоторых систем превышала расчетную на 20°C, и отдельные приборы лунных модулей кораблей Apollo 16 и 17 из-за перегрева ухудшили свои характеристики.



Токсичность частиц лунной пыли указывает на необходимость постоянного контроля ее концентрации и создания надежных средств ее удаления в кабинах пилотируемых посадочных модулей, а в будущем – в модулях жилых станций.

Попытки astronautов удалить эту пыль не дали результата, в то время как в испытаниях на Земле это легко удавалось. Такие сообщения от astronautов поступали при каждом выходе на поверхность Луны из модуля. Именно из-за этого факта Джон Янг, командир экспедиции на Apollo 16, заметил: «Пыль – это проблема номер один при возвращении на Луну».

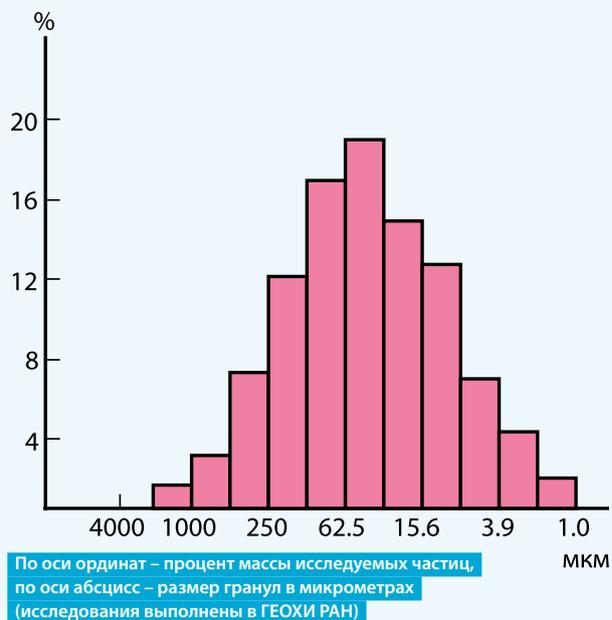
РАЗДРАЖЕНИЕ И КАШЕЛЬ

Самым неприятным фактором лунной пыли является ее влияние на самочувствие человека. Astronautы экспедиций Apollo сообщали, что она имеет резкий запах, напоминающий запах пороха. Попав в лунный, а оттуда в командный модуль корабля, в условиях отсутствия гравитации пыль распространялась по всему объему кабины. У экипажа, дышавшего этой пылью, появлялись раздражения кожи, глаз и кашель. Пыль проникала даже сквозь одежду, и astronautы,

СЧЕТ НА МИКРОНЫ

Анализ показал, что по размерам лунный грунт в основном состоит из частиц менее 1 мм, причем подавляющая часть массы лунного реголита имеет частицы менее 100 мкм и представляет собой лунную пыль.

На рисунке представлен пример распределения размеров пылевых частиц, полученного в образце, доставленном на Землю автоматической станцией «Луна-24» в 1976 г. Эти данные имеют существенное значение для исследования условий отрыва частиц от поверхности и их дальнейшей динамики, а это, в свою очередь, необходимо для проектирования систем очистки воздуха от пыли в местах обитания человека, а также для изучения токсикологических эффектов влияния пыли на функции дыхания.



сняв ее, обнаруживали, что их тела тоже покрыты пылью. Имевшиеся на борту средства очистки были бесполезны. Пыль не удалялась, а въедалась в кожу. Эту проблему не удалось решить и в последующих пяти экспедициях.

ЛУННЫЙ «СЮРИКЭН»

Необычные свойства лунной пыли проникать сквозь уплотнения герметичных систем и «прилипать» к различным поверхностям исследовались учеными разных стран. Было высказано предположение, что взвешенные в приповерхностных электрических полях пылевые субмикронные и микронные частицы пыли могут быстро вращаться со скоростью несколько тысяч оборотов в секунду и при воздействии на предметы проявляют себя не просто как «ударники».

Учитывая, что формы пылевых частиц крайне нерегулярны и часто заострены, их можно сравнить с японскими метательными звездочками «сюрикэн», обладающими большой поражающей силой. Видимо, именно эта особенность, в сочетании с электростатическим зарядом, объясняет удивительную способность лунной пыли портить поверхности чувствительных систем приборов и проникать сквозь герметические уплотнители.

МЕТОДЫ И РЕШЕНИЯ

Для нового этапа активных исследований и освоения Луны с участием человека необходимо более глубокое понимание динамики лунной пыли и плазменно-пылевых процессов, происходящих в приповерхностной экзосфере Луны. Исследования в этом направлении чрезвычайно важны для изучения адгезионных (способность сцепления с поверхностями. – Ред.) свойств пылевых частиц, их воздействия на различные поверхности, материалы, служебные системы, механические узлы и герметические уплотнители. Необходимо выработать рекомендации по снижению влияния лунной пыли не только на инженерные системы, но и на человека.

Сложность решения этих проблем методами лабораторного моделирования связана не только с условиями глубокого вакуума и пониженной гравитацией, характерными для Луны, но и, прежде всего, со специфическими свойствами самих микрочастиц, которые не встречаются в естественных условиях на Земле.

Для выполнения исследований необходимо в земных условиях создать искусственную среду, которая имитировала бы хотя бы некоторые, наиболее ключевые, характеристики лунной экзосферы. С этим связана сложная задача создания аналогов лунного грунта по химическому и/или гранулометрическому составу, а также имитирующих иные специфические особенности реголита и лунной пыли.

Другим направлением борьбы с влиянием лунной пыли на инженерные системы посадочных аппаратов и человека является создание искусственных систем минимизации воздействия лунной пыли.

В настоящее время предлагаются три подхода при создании таких систем.

Системный подход – проектирование посадочных средств, методов посадки космических

аппаратов и формирование программы деятельности человека с минимальной генерацией сопутствующей пыли.

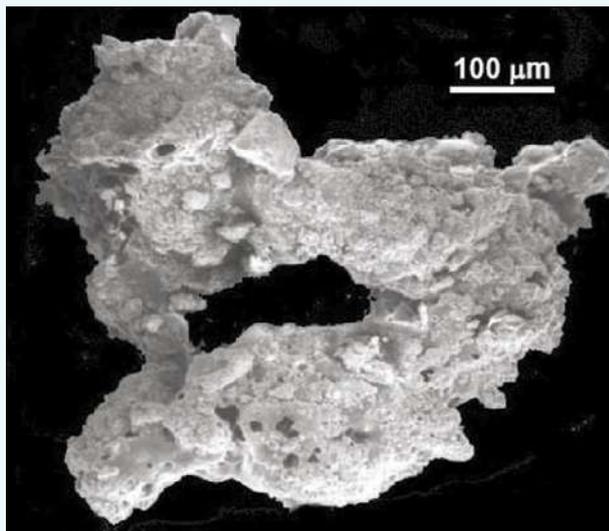
Пассивные технологии – использование особых материалов для поверхностей наиболее важных систем с пылеотталкивающими (антистатическими) свойствами – на примере известного всем «антистатика».

Активные технологии – создание вблизи защищаемых поверхностей специальных систем, которые создают электростатические поля, отклоняющие заряженные пылевые частицы либо сбрасывающие уже осевшие на поверхность.

«ЛУНА-25» И ПОСЛЕДУЮЩИЕ МИССИИ

К настоящему времени сформирована программа исследований Луны, вошедшая в Федеральную космическую программу, которая предусматривает полеты к спутнику трех посадочных и одного орбитального автоматических аппаратов. Предполагается, что каждый из них будет иметь на своем борту научный прибор для изучения динамики лунной пыли и характеристик приповерхностной плазменно-пылевой экзосферы.

Комплекс научной аппаратуры посадочного аппарата «Луна-25», планируемого к запуску этим летом, включает прибор пылевого мониторинга Луны (Пмл). Он способен регистрировать левитирующие у посадочного аппарата пылевые частицы, определять их скорость, электрический заряд, оценивать массу регистрируемой частицы. Кроме того, прибор Пмл позволит измерять

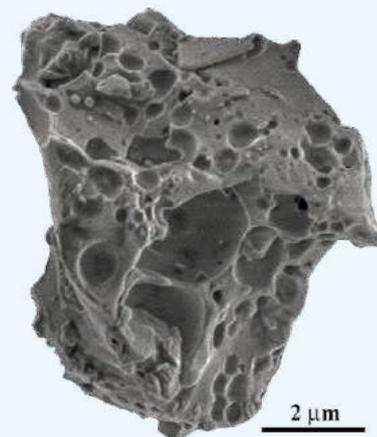


СОВСЕМ НЕ БЕЗОБИДНЫЕ

Форма пылевых частиц очень разнообразна, но у большей части из них ярко выражены заостренные края, что сильно отличает их от земных аналогов.

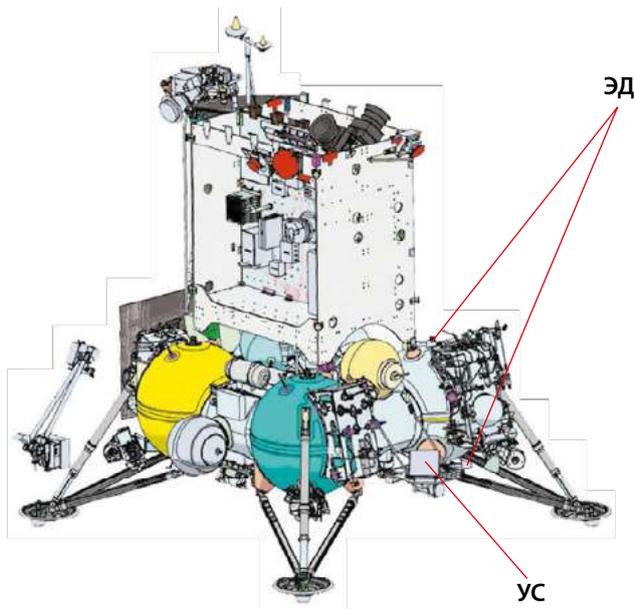
Все пылевые частицы могут быть классифицированы на четыре типа:

- 1 сферические;
- 2 блоки неправильной формы с острыми углами;
- 3 осколки (чешуйки) стекла;
- 4 нерегулярные (пористые, напоминающие швейцарский сыр), как правило, имеющие заостренные углы.



На лунном грунте остаются отчетливые следы.
Фото миссии Apollo 15





Посадочный аппарат «Луна-25». Показано расположение блока ударных сенсоров (УС) и блоков электростатических датчиков (ЭД) прибора пылевого мониторинга Луны

основные параметры приповерхностной плазмы (плотность, температуру, потенциал) и величину приповерхностного электрического поля.

Следующий посадочный аппарат «Луна-27», планируемый к запуску через два-три года, будет включать усовершенствованный вариант прибора ПМЛ. Его основные чувствительные элементы будут установлены на выносной штанге, которая позволит разместить их дальше от аппарата и ближе к поверхности. Это уменьшит влияние на них посадочного аппарата и позволит точнее определить характеристики приповерхностной плазменно-пылевой экзосферы.

ОТ ВРЕДА К ПОЛЬЗЕ

В целях решения проблем воздействия лунной пыли на технические системы и здоровье космонавтов необходимо осуществить:

- реализацию программы исследований Луны, включающей изучение динамики лунной пыли в натуральных условиях. При своевременном выполнении такие исследования станут первыми после единственного пылевого эксперимента, проведенного экипажем экспедиции Apollo 17 в 1972 г.;
- изучение влияния естественной лунной пыли и наиболее агрессивной «сопутствующей» пыли методами лабораторного моделирования на специально созданном имитаторе лунной среды, включая создание аналогов лунной пыли;



Внешний вид блока ударных сенсоров

- разработку методов минимизации действия лунной пыли на служебные системы посадочных аппаратов, робототехнические узлы, системы передвижения по поверхности;
- изучение влияния лунной пыли на здоровье человека и системы жизнеобеспечения.

Выполнение предложенной программы является крайне необходимой стадией подготовки пилотируемого этапа исследования и освоения Луны. Такие эксперименты помогут не только минимизировать биологическую и технологическую «токсичность» лунной пыли, но и подготовиться к ее практическому использованию. Лунная пыль, очевидно, станет основой строительного материала для возведения элементов лунной базы и защитных сооружений от радиационного облучения.

«ПЫЛЕВОЙ МОНИТОРИНГ» НА БОРТУ «ЛУНЫ-25»

Прибор ПМЛ, включенный в состав научной аппаратуры посадочного аппарата «Луна-25», предназначен для регистрации пылевых частиц, по-



Внешний вид блоков электростатических датчиков

падающих в датчики прибора, и измерения их физических характеристик – заряда, скорости, оценки массы. Кроме того, прибор определит характеристики приповерхностной плазмы вблизи посадочного аппарата.

Прибор состоит из трех блоков: блока ударных сенсоров (УС) и двух блоков электростатических датчиков (ЭД). На рисунке (с.48) схематично указано их расположение на борту «Луны-25».

Блок ударных сенсоров включает два типа датчиков: пьезоэлектрические сенсоры (ПС) для регистрации импульсов пылевых частиц, возникающих при их попадании на пьезоэлектрическую пластину, и зарядочувствительную сетку для измерения зарядов частиц, пролетающих сквозь сетку. На верхней панели прибора расположены 24 керамических ПС размером 30×23 мм. Зарядочувствительная сетка расположена над пластинами ПС на расстоянии 8 мм.

Регистрируемая частица пролетает через зарядочувствительную сетку и затем ударяется о пьезоэлектрический сенсор. При этом формируется два сигнала – индуцированный при пролете через сетку и «ударный» при столкновении с пьезоэлектрическим сенсором. Анализ этих сигналов позволит определить заряд и скорость частицы, а также оценить ее массу.

В блоках электростатических датчиков объединены два типа: датчик заряда в виде усеченной конусообразной поверхности и зонд Ленгмюра.

Датчик заряда блока ЭД позволяет измерять заряд пылевых частиц при непосредственном контакте с поверхностью или при пролете пылевой частицы вблизи электрода. Зонд Ленгмюра измеряет параметры окружающей плазмы: плотность, температуру, потенциал.

Полученные прибором ПМЛ данные позволят в течение длительного времени исследовать изменение состояния экзосферы Луны при различных условиях лунных суток и различной активности Солнца, а также изучить поведение и роль пылевых частиц в изменчивых условиях экзосферы Луны. Эта информация станет первой после более чем пятидесятилетнего перерыва со времени обнаружения левитирующей лунной пыли. ■

Примерочные испытания летного экземпляра межпланетной станции «Луна-25»



Фото НПО Лавочкина