

УДК 629.78:520.4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МАНИПУЛЯТОРНЫЙ КОМПЛЕКС (ЭМК)

*В.М. Линкин, В.Г. Родин, В.М. Готлиб, О.Н. Андреев, О.Е. Козлов,
А.Б. Ульянов*

Институт космических исследований РАН, Москва

Экспериментальный манипуляторный комплекс (ЭМК) главным образом предназначен для проведения научных экспериментов по исследованию поверхности Фобоса. Он должен обеспечить проведение анализа грунта непосредственно на поверхности, забрать пробы грунта в заданной зоне поверхности и обеспечить доставку образцов взятого с поверхности грунта к установленному на КА вне ЭМК «Блоку анализа», в котором предполагается проводить с забранным грунтом исследования, в частности, пиролиз.

В состав комплекса входят:

- мессбауэровский спектрометр (МС);
- альфа-протонно-рентгеновский спектрометр (АПРС);
- микроТВ-камера (МТВ);
- микрогрунтозаборное устройство (МГЗУ);
- собственно манипулятор как средство доставки приборов

или их составляющих в нужную точку поверхности.

Основные характеристики ЭМК приведены в табл. 1.

Очевидно, что в зависимости от приоритетов состав ЭМК может изменяться. При этом есть ограничения технического свойства: манипулятор может «манипулировать» лишь ограниченной массой.

Данный конкретный комплекс ЭМК создается, как уже упоминалось, для использования в составе космического комплекса «Фобос-Грунт». Однако как исследовательский и измерительный комплекс он может весьма эффективно использоваться и на других планетах, и на Земле в составе стационарной или передвижной станции. Оснащенный специальными приборами и приемо-передающим комплексом, он может проводить измерения и передавать информацию из труднодоступных и опасных для человека зон.

Таблица 1

Состав и технические характеристики экспериментального манипуляторного комплекса

Наименование прибора	Технические характеристики			Прочие характеристики
	масса, кг	энергопотребление, Вт	габариты, мм	
Мессбауэровский спектрометр (МС)	0,5	2,0	130×70×70	16 кбит/анализ
Альфа-протонно-рентгеновский спектрометр (АПРС): блок детекторов блок электроники	0,1 0,5	1,0	40×40×85 70×80×65	16 кбит/анализ
МикроТВ-камера: блок оптики блок электроники	0,08 0,14	3,0	55×60×35 90×75×45	1 Мбайт
Микропультзаборное устройство	0,1	2,0	35×40×160	
Манипулятор	2,0	15	150×190×600	Глубина внедрения до 30 мм, размер забираемого образца до 25 мм Радиус действия 250—1100 мм; перемещаемая масса до 2 кг; усилие прижима 5 Н

К манипулятору Заказчиком предъявляются несколько конкретных и противоречивых требований:

- масса манипулятора не должна превышать 2,0 кг, масса устанавливаемых научных приборов — до 1,5 кг, масса транзитного кабеля научных приборов — не более 0,5 кг; общая масса ЭМК должна быть не более 4,0 кг;
- скорость перемещения звеньев не более 10 мм/с;
- точность позиционирования приборов ± 2 мм (линейная), $\pm 5^\circ$ (угловая);
- радиус действия манипулятора не менее 1000 мм;
- время разворачивания ЭМК из транспортного положения в рабочее не более 10 мин;
- усилие прижатия научных приборов к поверхности грунта до 5 Н.

Предполагается, что манипулятор будет представлять собой двухзвенный механизм с поворачивающимися относительно оси кронштейном, на котором и будут установлены чувствительные элементы приборов МГЗУ и МТВ. Он будет способен поворачиваться по азимуту в пределах зоны, выделенной общей компоновкой (рис. 1). Поверхность, которая может быть исследована манипулятором, — это сегмент углом 150° от точки крепления манипулятора — и ограничена максимальной длиной выноса манипулятора 1 м как внешним радиусом и конструкцией объекта — как внутренним радиусом (рис. 2).

Аналогичный манипулятор ранее был создан для земного робота и для макета марсохода (рис. 3).

Рассмотрим микрогрунтозаборное устройство. Прежде чем приступить к описанию конкретных устройств, остановимся на некоторых принципах их разработки.

Буровые устройства, используемые в составе автоматических КА для исследований Луны и планет, должны отвечать всем требованиям, предъявляемым к космической технике:

- обладать минимальной массой;
- быть минимально энергоемкими;
- обладать повышенной, по сравнению с земными аналогами, надежностью;
- не требовать проведения регламентных работ и ремонта в процессе эксплуатации;
- быть работоспособными после воздействия факторов доставки и в экстремальных условиях эксплуатации.

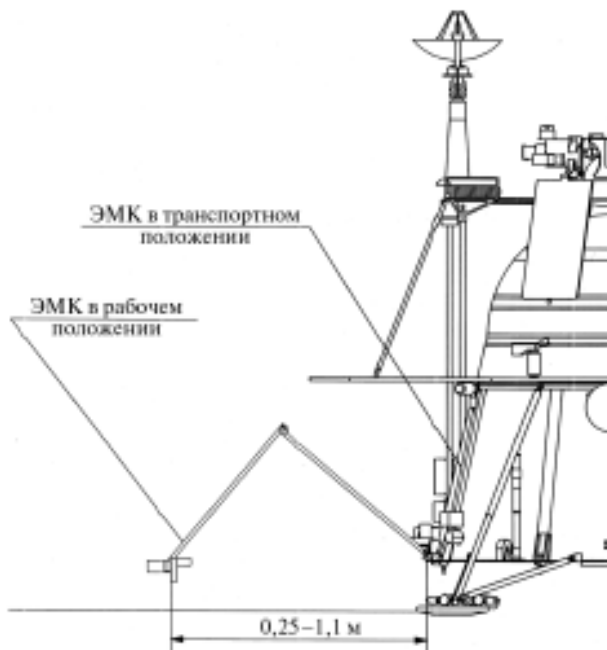


Рис. 1. Установка ЭМК на объекте

С другой стороны, условиями эксплуатации определяются специальные функциональные требования:

- бурение (если в качестве грунтозаборного устройства используется буровое устройство) без промывки скважины;
- бурение и забор грунта без смены или какой-либо другой работы (например, заточки) с породоразрушающим элементом;
- обеспечение возможности работы одним устройством на грунтах различной плотности и прочности.

При установке бурового устройства на подвижный модуль возникают дополнительные требования:

- ограничение по величине осевого усилия, обусловленное вероятностью сдвига подвижного модуля под действием реакции при заборе грунта;
- исключение заклинивания инструмента в процессе забора грунта или принятие специальных мер по освобождению модуля от заклинившего устройства.

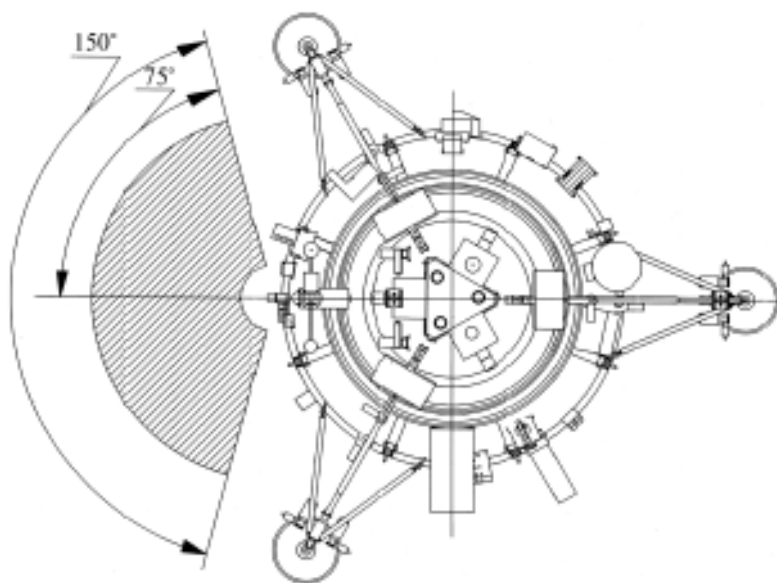


Рис. 2. Зона работы ЭМК

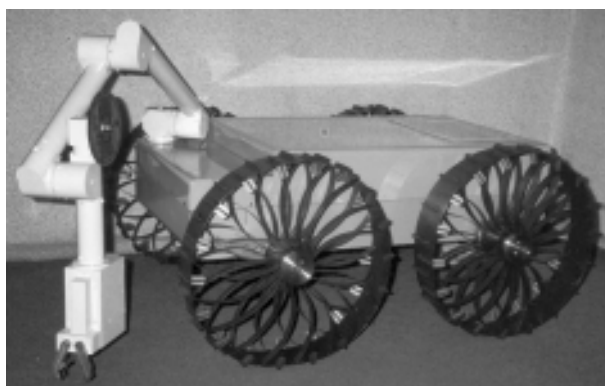


Рис. 3. Манипулятор на подвижном роботе

Перейдем к описанию некоторых созданных ранее грунтозаборных устройств. Технические характеристики грунтозаборных устройств представлены в табл. 2.

Таблица 2

Технические характеристики грунтозаборных устройств

Параметр	ГЗУ 1	ГЗУ 2	ГЗУ 3
Способ бурения	В р а щ а т е л ь н ы й		
Диаметр бурового инструмента, мм	28	18	16
Максимальная глубина бурения (ход бурового инструмента), мм	500	300	35
Максимальное осевое усилие при бурении, Н	100	100	Определяется возможностями объекта
Электропитание — постоянный ток напряжением, В	24–30	24–30	24–30
Номинальная потребляемая мощность, Вт	90	40	30
Масса, кг	3,5	1,8	1,2

Грунтозаборное устройство ГЗУ1 (рис. 4). Конструкция ГЗУ1 основана на применении двух шнеков, один из которых находится внутри другого. Привод вращает внешний шнек (буровую штангу) с «пером» на конце, обращенным к забою. Внутренний шнек в это время вращается в ту же сторону с большей частотой вращения. При движении вниз, осуществляемом с помощью пары винт — гайка, происходит бурение породы и забор грунта во внутреннюю полость. Затем буровой инструмент, вращаясь в противоположную сторону, поднимается. При этом внутренний шнек вращается в ту же сторону, что и наружный, и с такой же скоростью, что и внешний, и это не дает забранному грунту высыпаться из бурового инструмента. По достижении первоначального (исходного) положения внутренний шнек фиксируется, внешний же продолжает вращаться без осевого перемещения, и забранный грунт высыпается. После подъема бурового инструмента и до выгрузки грунта ГЗУ может быть перемещено в зону, где должен выгружаться грунт.

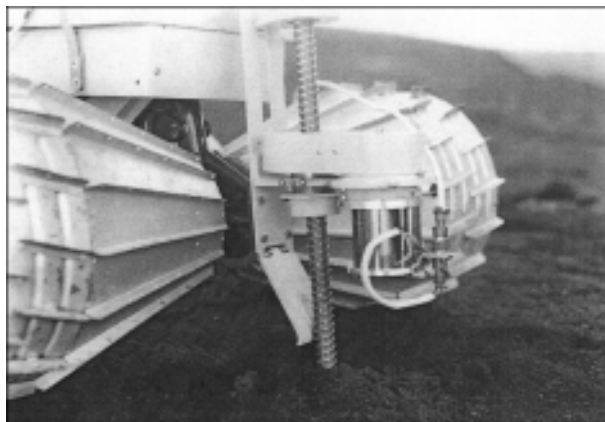


Рис. 4. Грунтозаборное устройство ГЗУ1 на макете марсохода

Грунтозаборное устройство ГЗУ1 предназначалось для проверки принципов забора и перегрузки грунта, поэтому оно не оптимизировано по энергопотреблению и массе. Тем не менее, на нем производились бурения как автономно, так и в составе подвижного модуля, в частности, «марсохода». Проводилось бурение и слабосвязанных грунтов (песок), и достаточно крепких (кирпич). Масса забранного грунта достигала 60–80 г. Эти испытания подтвердили возможность создания многоразового ГЗУ на указанном принципе, но выявило ряд проблем, которые необходимо было решить.

Грунтозаборное устройство ГЗУ2 сконструировано на том же принципе, но имело меньшие габариты и массу. Изменена компоновка: двигатели привода расположены вокруг бурового инструмента, что позволило уменьшить габариты. При этом удельная мощность на единицу площади забоя, наоборот, несколько увеличилась за счет уменьшения диаметра бурового инструмента.

Грунтозаборное устройство ГЗУ2 испытывалось автономно. Проводились бурение и забор различных грунтов: песок, жженный кирпич, туф. Время бурения от 50 с на 300 мм (песок), до 8 мин на 20 мм (туф) и до 12 мин на 50 мм (кирпич); масса забранного грунта до 30–40 г.

Если ГЗУ1 и ГЗУ2 предназначались для установки непосредственно на подвижный модуль, то *грунтозаборное устройство ГЗУ3* (рис. 5) должно крепиться к некоему выносному устройству (манипулятору), которое, в свою очередь, может быть установлено, например, на «марсоход» (рис. 6).



Рис. 5. Грунтозаборное устройство ГЗУ3

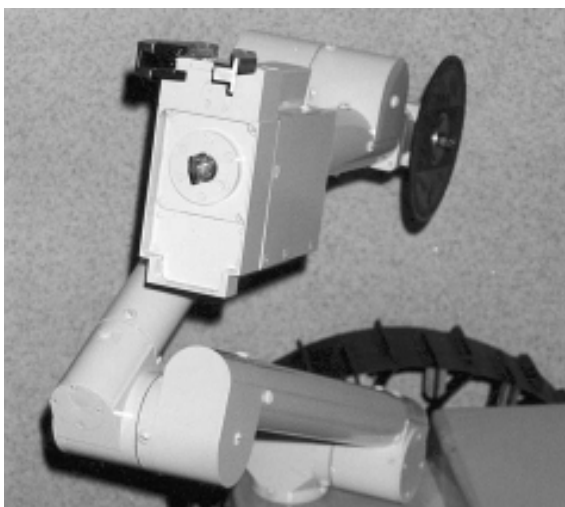


Рис. 6. Грунтозаборное устройство ГЗУ3 на манипуляторе подвижного робота

Грунтозаборное устройство ГЗУЗ испытывалось, в основном, на слабосвязанных грунтах (песок, лёсс). Испытания проводились как автономно, так и в составе манипулятора, установленного на подвижный робот. Проходка скважины глубиной 30–35 мм продолжалась 7–8 с.

Грунтозаборное устройство ГЗУЗ нашло свое применение в подвижных роботах, предназначенных для использования в земных условиях.

Рассмотрим микрогрунтозаборное устройство (МГЗУ) для ЭМК. Каковы отличительные признаки этих грунтозаборных устройств?

Во-первых, поскольку практически на Фобосе (так как комплекс создается в рамках программы «Фобос-Грунт») отсутствует гравитация, способ забора и перегрузки грунта должен быть выбран с учетом этого обстоятельства, в частности, процесс пересыпания грунта не приемлем. Отсутствие гравитации делает необходимым принудительную выгрузку грунта и в ГЗУ для этой цели применяется отдельный привод.

Во-вторых, поскольку в экспедиции «Фобос-Грунт» предусмотрена установка еще одного грунтозаборного устройства бурового типа для забора и доставки грунта, взятого из скважины глубиной порядка 1 м, на Землю, стоит задача с помощью ЭМК-ГЗУ поместить в возвращаемую капсулу помимо гибкого грунтоноса из длинномерного ГЗУ еще и отдельный фрагмент или несколько фрагментов плотного грунта (камень).

В настоящее время проектируются ГЗУ двух, несколько отличающихся друг от друга, типов. Один из них (рис. 7) основан на принципе захвата, другой (рис. 8) — на принципе сжимающихся лепестков.

Характерной особенностью МГЗУ с захватом является попытка забрать грунт, размеры фракции которого могли бы быть помещены в пиролитическую ячейку (ПЯ) без предварительного измельчения в специальном устройстве — мельнице. Для этого одна из «губ» захвата — перфорированная — должна, как сито, пропускать фракции не больше допустимого (~0,5–1 мм) размера. Другая «губа» должна проталкивать эти частицы в полость, находящуюся под первой «губой», из которой затем специальным толкателем (рис. 9) проба грунта, состоящая из «калиброванных» частичек, выталкивается либо непосредственно в ПЯ, либо на транспортер, который, в свою очередь, перегружает пробу в ПЯ.

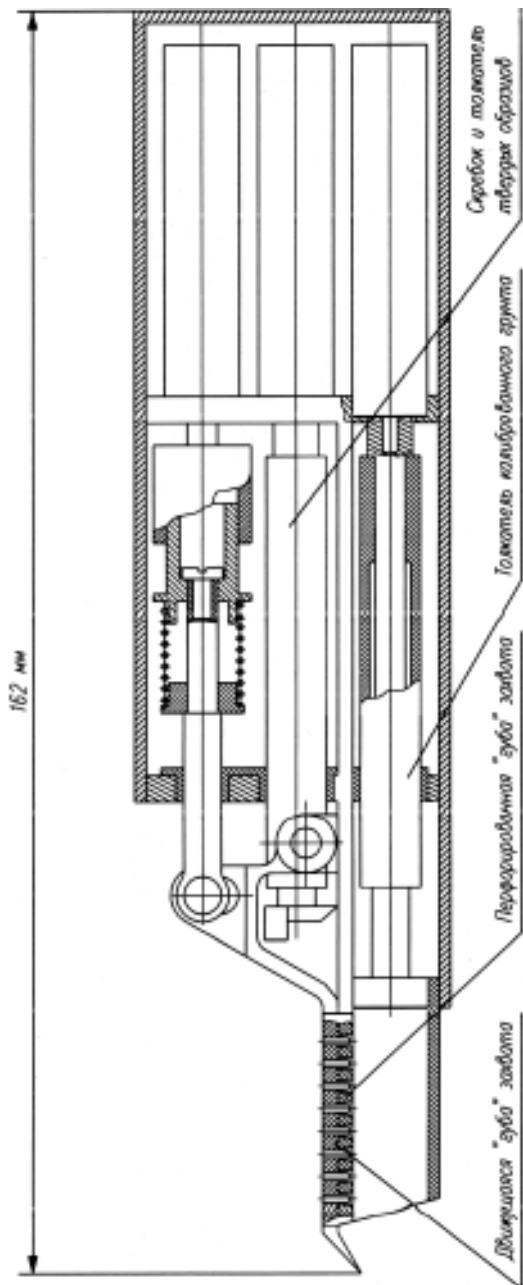


Рис. 7. МикроГЗУ с захватом

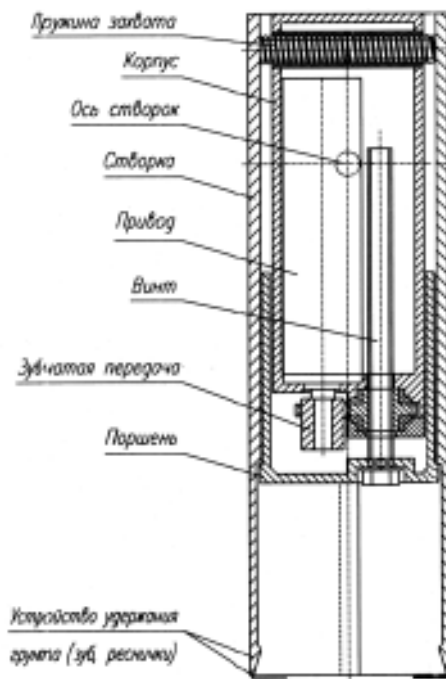


Рис. 8. МикроГЗУ с цангой

Характеристики МГЗУ приведены в табл. 3.

Таблица 3

Ожидаемые технические характеристики МГЗУ
для проекта «Фобос-Грунт»

Параметр	МГЗУ с захватом	МГЗУ с цангой
Способ забора грунта	Захват	Сжимающиеся лепестки — цанговый
Глубина проникнове- ния, мм	30	30
Максимальный размер захватываемого твердого образца, мм	до 30	15-20
Габариты, мм	160×42×30	∅30×120
Напряжение питания, В	9	12-24
Потребляемый ток, А	0,15-0,2	0,1-0,2
Масса, кг	0,9	0,11

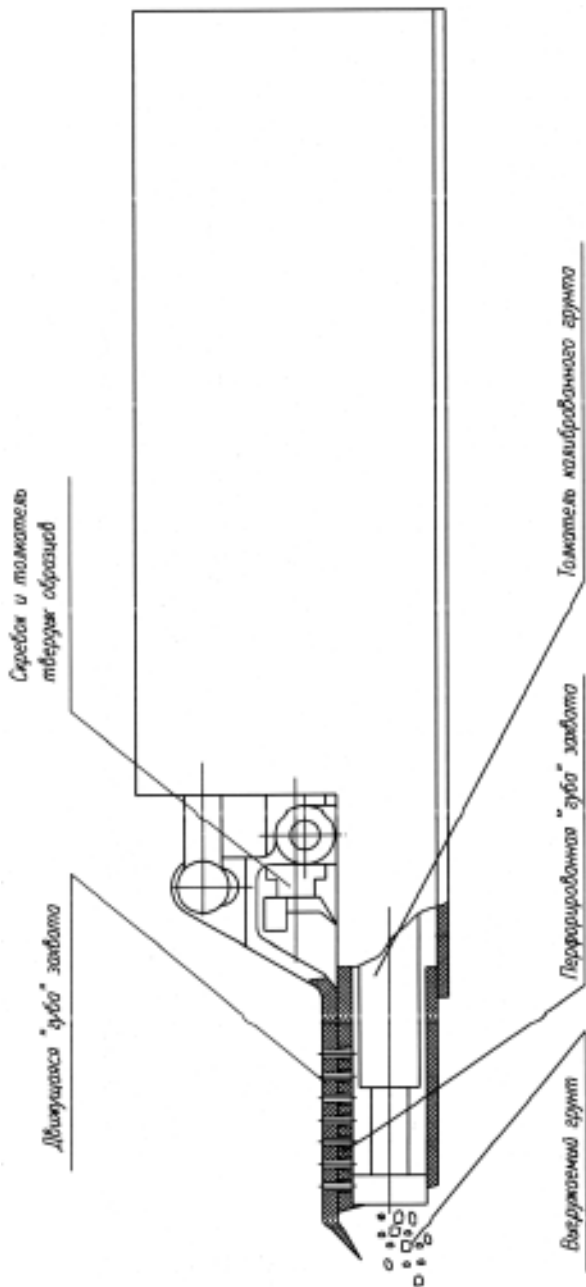


Рис. 9. Выгрузка калиброванного грунта из микроГЗУ

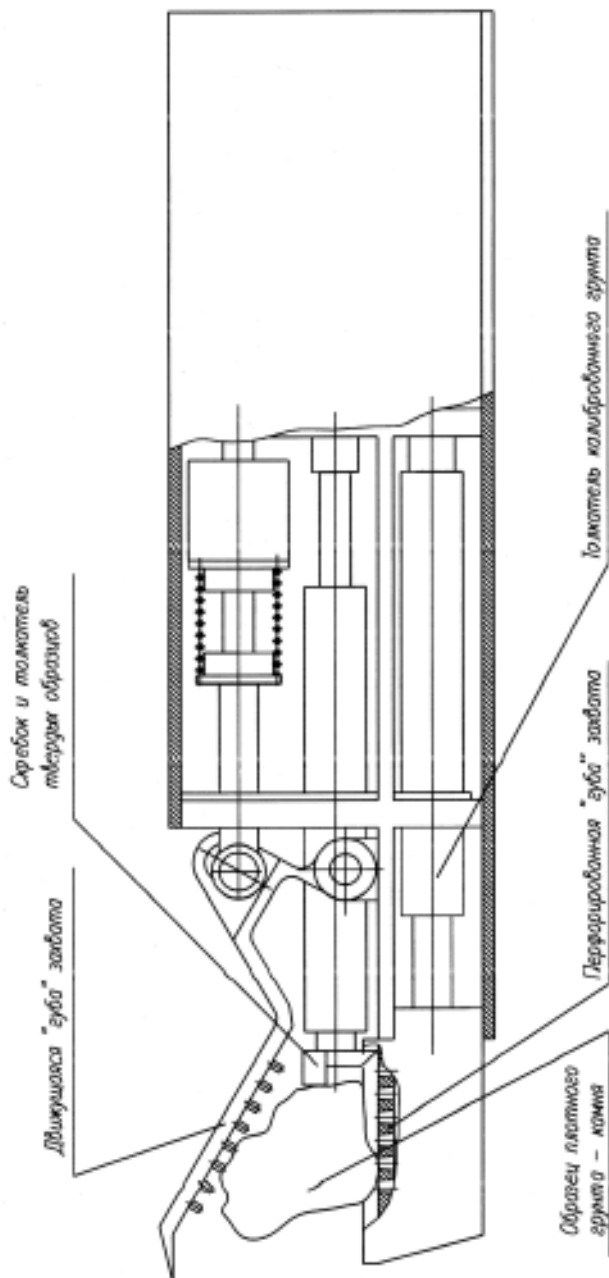


Рис. 10. Захват микроГЗУ образца плотного грунта — камня

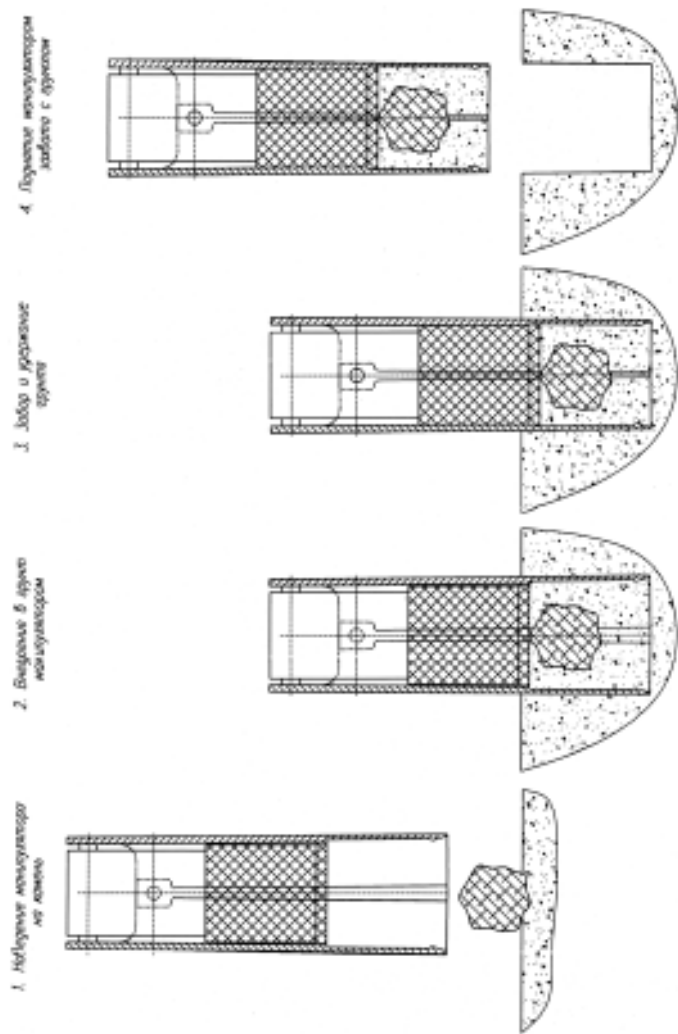


Рис. 11. Последовательность операций по забору грунта микроГЗУ с цангой

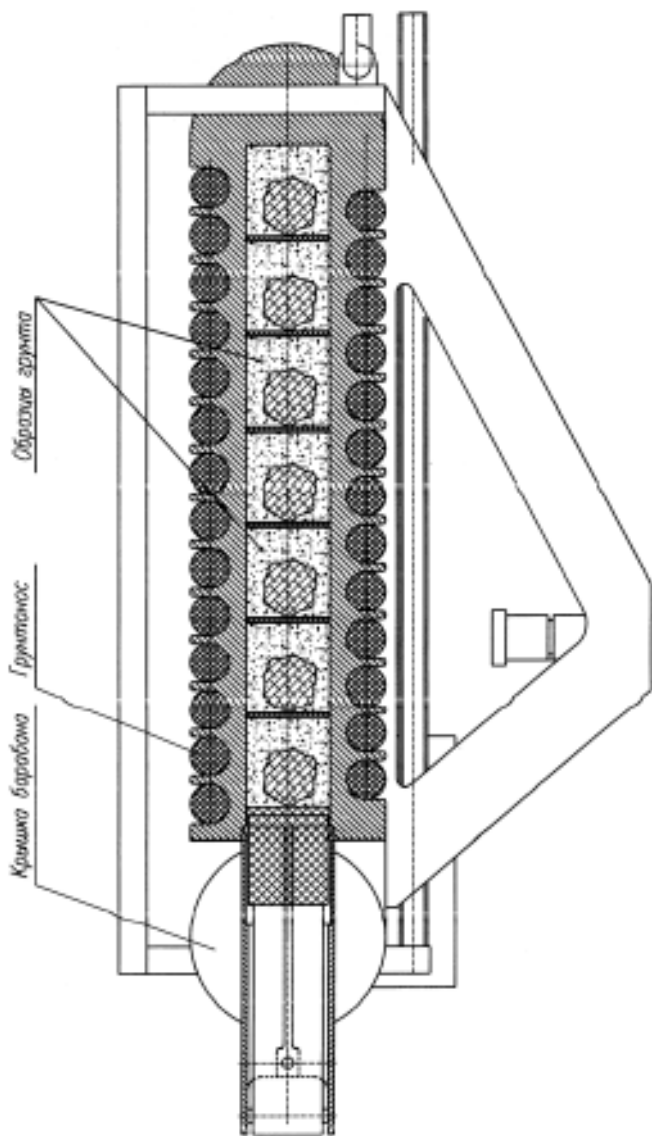


Рис. 12. Перегрузка забранных образцов грунта в капсулу ГЗУ с цангой

Эти же «губы» служат для захвата образца плотного грунта — камня — (рис. 10) и его транспортировки в капсулу для последующего перемещения в спускаемый аппарат (СА) КА, которое из-за отсутствия гравитации также осуществляется при помощи специального толкателя.

Микрогрунтозаборное устройство с цанговым зажимом обеспечивает забор каменистого образца грунта с размером до 30 мм вместе с рыхлым грунтом, предварительное уплотнение грунта (рис. 11) и перемещение сформированной «таблетки» грунта в капсулу спускаемого аппарата. Дополнительное уплотнение грунта может производиться в грунте до выемки образца или в капсуле СА, что обеспечит плотную упаковку образцов грунта в капсуле (рис. 12) и, соответственно, беззачерпное положение образцов грунта на всех стадиях перелета СА.

Как указывалось выше, МГЗУ с цанговым зажимом забирает и образцы рыхлого грунта и помещает их в приемник транспортера блока анализа, на котором происходит принудительное процеживание (просеивание) грунта (аналогично МГЗУ с захватом), формирование дозированных проб для пиролитических ячеек и утилизация грунта.

Процессы забора грунта должны отрабатываться на специальном стенде, имитирующем поверхность Фобоса. На этом же стенде будут отрабатываться контактирующие с грунтом приборы, входящие в состав научной аппаратуры КА «Фобос-Грунт». На этом же стенде, после его аттестации, должны будут проходить сдаточные испытания.