

МАШИНОЗНАВСТВО

УДК [629.785:523.3]:621

Кованько В. В., д.т.н., профессор, Древецкий В. В., д.т.н., профессор, Кованько О. В., аспирант (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

К ВОПРОСУ НАЧАЛ ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА НА ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ

Приведены результаты лабораторных, прямых и аналитических исследований физико-механических характеристик лунного реголита по девяти участкам исследованной лунной поверхности. Сделан вывод о возможности разработки и проектирования на этой основе соответствующих технических средств, оборудования и их рабочих органов. Представлено техническое решение устройства для прокладки в реголите линейно-протяжных цилиндрических полостей с закрепленными стенками тепловым способом.

Ключевые слова: лунный реголит, автоматическая лунная станция, самоходная лаборатория «Луноход», программа «Аполлон», лунное грунтоведение, лунное машиностроение, космические технологии.

Вступление. Луна стала первым небесным телом, поверхность которого подверглась прямому изучению как с помощью автоматических космических аппаратов, так и экипажами космических кораблей. В 1966 г. на ее поверхность совершили посадку первые автоматические лунные станции (АЛС), а уже в 1969 г. там высадились первые люди. В настоящее время следует ожидать нового витка прямых исследований нашего ближайшего космического соседа. Так, стало известно, что на лунную поверхность успешно совершила мяг-кую посадку китайская передвижная лаборатория – луноход «Юйту» – «Нефритовый заяц», который прилунился 14.12.2013 г. в 400-х км от намеченного района посадки, в Море Дождей и уже начал функционировать.

Лунные программы, вначале, оказались слишком дорогими, не под силу одной стране, даже такой, как США. Так, например, стоимость пребывания одного человека на Луне по программе «Аполлон» составила порядка 20 млн долларов/сутки [1]. Однако ожидается, что в случае создания на Луне постоянно действующих обитаемых комплексов научного и прикладного характера, появится возможность снизить ее

величину более чем в 20 раз. Такая динамика вселяет надежду, что в ближайшем будущем лунные программы станут более доступными, будут всемерно расширяться и углубляться.

Вопросы освоения Луны человеком и организация космических технологий приобретают в настоящее время все более четкие контуры. Строительство лунных объектов научного и прикладного характера дело уже не столь отдаленного будущего, возможно первых десятилетий XXI века. В связи с этим возникает целый ряд проблем, связанных с разработкой лунного грунта (реголита) и скальных пород, что в свою очередь, порождает проблему создания не совсем обычной для земной практики лунной строительной техники. Каковы должны быть машины для разработки лунного грунта, какими будут оптимальные параметры и геометрия их рабочих органов, какие источники энергии будут использованы? Ответы на перечисленные вопросы пока остаются открытыми. Сейчас понятно лишь то, что к данным машинам будут предъявлены самые жесткие требования, и в первую очередь, минимум материалоёмкости, энергоёмкости и максимум экобезопасности.

В настоящее время уже можно говорить о приобретении некоторого опыта по разработке лунного реголита и передвижении по лунной поверхности как человека, так и машины в столь необычных для землян физических условиях: сверх высокий вакуум (давление газов на поверхности порядка $1,33 \cdot 10^{-8} - 1,33 \cdot 10^{-14}$ Па); большой перепад температур в ночное и дневное время, соответственно 98,15 К и 398,15 К; ускорение силы тяготения ($1,623 \text{ м/с}^2$) меньше земного почти в 6 раз; метеоритная бомбардировка; жесткое космическое излучение; электростатическая миграция пылеватых частиц, получающих положительный заряд в результате электронной эмиссии, возникающей под действием различного рода излучений и так далее.

Перечисленные особенности, отличные от земных, являются основными факторами, влияющими на физико-механические свойства лунного реголита, а отсюда и специфику его деформирования различными контртелами и рабочими органами машин.

Динамика развития и достигнутые результаты позволяют сделать вывод о том, что на ряду с признанным уже зарождением *лунного грунтоведения* зарождается новый раздел науки – *лунное машиностроение* и, в частности, лунное строительное машиностроение. Это является гарантом неизбежности организации производства на Луне, добычи полезных ископаемых, и в частности, организации горнопроходческих работ, например для устройства убежищ под лунной поверхностью с целью защиты от метеоритов, воздействия радиации и колебания тем-

ператур.

Анализ последних исследований. Вопросу экономической целесообразности и технической возможности создания на Луне длительно действующих обитаемых объектов научного и прикладного характера посвящено ряд публикаций, например [1-3]. Однако строительство таких объектов потребует разработки значительного объема реголита и скальных пород, что порождает проблему создания необычной для земной практики лунной строительной техники, в основу действия которой были бы положены новые физические эффекты и принципы, а также минимум материалоемкости, энергоемкости и максимум экобезопасности. В этой связи первоочередным является выявление наиболее важных характеристик реголита, которые аналогично земным грунтам, определяли бы процесс его взаимодействия с рабочими органами лунной техники. К ним следует отнести: гранулометрический состав, геометрическую форму отдельных частиц, пористость (в плотном теле и после разрыхления), коэффициент пористости, удельный вес отдельных фрагментов, объемный вес грунта в целом, прочность, плотность, сопротивление сдвигу, сцепление, углы внутреннего и внешнего трения, коэффициент сопротивления осадке, модуль общей деформации, разрыхляемость и абразивность.

Исходя из этого, проведен обзор по результатам лабораторных и прямых исследований свойств лунного грунта, а также аналитических исследований процессов его деформирования и разрушения [1, 4-8].

Постановка задания. В статье необходимо проанализировать и систематизировать результаты исследований характеристик лунного грунта, и разделив его на отдельные районы, рассматривать их как потенциальные площадки для проведения будущих строительно-монтажных работ. Это представляет существенную ценность с точки зрения изучения процессов взаимодействия грунта с рабочими органами будущей лунной строительной техники, ее разработки и проектирования.

В развитие приведенного, целесообразно представить техническое решение устройства для проходки подлунных инженерных коммуникаций различного назначения.

Результаты исследований. Для изучения поверхности Луны были созданы и применены различные космические аппараты: автоматические лунные станции серии «Луна» и «Сервейер», передвижные самоходные лаборатории «Луноход-1» и «Луноход-2», а также космические корабли класса «Аполлон». Полученные ими результаты уже частично нашли свое практическое применение, как при проектировании космических аппаратов, так и рабочих органов различных устройств, напри-

мер: манипулятор с ковшом экскавационного типа АЛС «Сервейер-3»; различные грунтозаборные трубки (трубчатые грунтоносы) и устройства для бурения скважин экспедиции «Аполлон»; грунтозаборное устройство АЛС «Луна-16»; грунтомер-пенетрометр АЛС «Луна-13» и, наконец измерительное устройство для оценки проходимости «Луноходов».

Перечисленное еще раз подчеркивает исключительную важность и значимость для создания и развития лунного машиностроения и лунопроходческих технологий получения достоверной информации о свойствах лунного реголита, его физико-механических характеристик и химическом составе. В связи с этим в статье проанализированы и систематизированы результаты изучения реголита во всех девяти исследованных районах лунной поверхности, показанных на рис. 1. На рис. 2 приведено место посадки китайского лунохода «Нефритовый заяц».

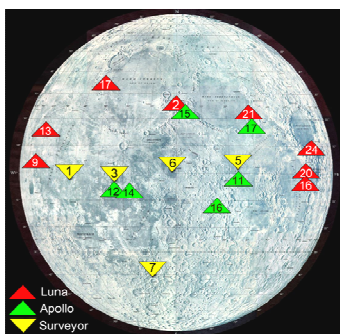


Рис. 1. Места посадок американских, советских АЛС и кораблей «Аполлон» (фото: НАСА)

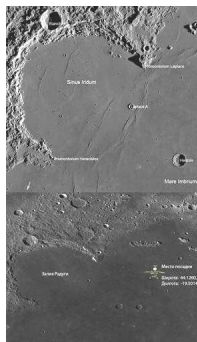


Рис. 2. Место посадки «Нефритового зайца»: Море Дождей, а не планируемый Залив Радуги (фото: НАСА)

Район Океана Бурь. Исследования выполнялись АЛС «Луна-9» (прилунение 03.02.1966 г.), «Сервейер-1» (прилунение 02.06.1966 г.), «Луна-13» (прилунение 24.12.1966 г.), «Сервейер-3» (прилунение 20.04.1967 г.) и экипажем «Аполлона-12» с астронавтами на борту Ч. Конрадом, Р. Гордоном и А. Бином (прилунение 19.11.1969 г.).

Результаты исследований сведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты исследований физико-механических характеристик
лунного реголита в районе Океана Бурь

№ п/п	Параметры	Инструмент исследований				
		«Луна-9»	«Сервейер-1»	«Луна-13»	«Сервейер-1»	«Аполлон-12»
1	Объемный вес, γ , Н/см ³	-	-	На поверхности 0,024-0,030	-	0,018±0,002
2	Угол внутреннего трения, φ°	-	30-40	Около 32	35-50	35-39
3	Сцепление, C , кПа	-	0,13-0,40	0,09	0,15-0,71	0,36-0,72
4	Плотность, ρ , г/см ³	-	1,50	На поверхности 0,80-1,52	В среднем 1,50	1,50
5	Модуль общей деформации, E , кПа	-	47	47	35	-

Море Спокойствия. Исследования выполнялись АЛС «Сервейер-5» (прилунение 11.09.1967 г.) и экипажем «Аполлона-11» с астронавтами на борту Н. Армстронгом и Э. Олдриным (прилунение 20.07.1969 г.). Результаты исследований сведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты исследований физико-механических характеристик
лунного реголита в районе Море Спокойствия

№ п/п	Параметры	Инструмент исследований	
		«Сервейер-5»	«Аполлон-11»
1	2	3	4
1	Структура	Грунт пылеватый и мелкозернистый с примесью отдельных камней и комков	Грунт зернистый и слегка связанный с примесью камней и обломков горных пород размером до 0,8 м
2	Крупность зерен, мм	0,002-0,060	1,00-0,03
3	Плотность, ρ , г/см ³	1,10	1,54-1,66
4	Объемный вес, γ , Н/см ³	-	$1,36 \cdot 10^{-2}$
5	Угол внутреннего трения, φ°	37	35-45

продолжение табл. 2

1	2	3	4
6	Сцепление, C , кПа	0,07-1,22	0,35-1,40
7	Несущая способность σ , кПа	1-18	9
8	Модуль общей деформации, E , кПа	-	13
9	Коэффициент постели, K , Н/см ³	-	0,035-0,550

Залив Центральный. Исследования выполнялись АЛС «Сервейер-6» (прилунение 10.11.1967 г.).

Результаты исследований сведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты исследований физико-механических характеристик
лунного реголита в районе залива Центральный

№ п/п	Параметры	Инструмент исследований
		«Сервейер-6»
1	Структура	Грунт мелкозернистый, слабо связанный с примесью гравия и крупных камней
2	Крупность зерен, мм	1,00-0,06
3	Плотность, ρ , г/см ³	0,7-1,6
4	Угол внутреннего трения, φ°	37
5	Сцепление, C , кПа	0,5-1,2
6	Несущая способность σ , кПа	1-18
7	Модуль общей деформации, E , кПа	37

Кратер Тихо. Исследования выполнялись АЛС «Сервейер-7» (прилунение 10.01.1968 г.).

Результаты исследований сведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты исследований физико-механических характеристик
лунного реголита в районе кратера Тихо

№ п/п	Параметры	Инструмент исследований
		«Сервейер-7»
1	2	3
1	Структура	Грунт мелкозернистый, слабо связанный с примесью гравия и крупных камней
2	Крупность зерен, мм	0,06-1,00 с большим числом камней
3	Плотность, ρ , г/см ³	1,2-1,5
4	Угол внутреннего трения, φ°	37-39
5	Сцепление, C , кПа	0,36-0,72
6	Несущая способность σ , кПа	21,5
7	Модуль общей деформации, E , кПа	35

Море Изобилия. Исследования выполнялись АЛС «Луна-16» (прилунение 24.09.1970 г.).

Результаты исследований сведены в табл. 5.

Таблица 5

Результаты исследований физико-механических характеристик лунного реголита в районе Моря Изобилия

№ п/п	Параметры	Инструмент исследований	
		«Луна-16»	
1	Плотность, ρ , г/см ³	1,115-1,793	
2	Объемный вес, γ , Н/см ³	(3,05-3,12)*10 ⁻²	
3	Коэффициент пористости, ε	0,67-1,7	
4	Угол внутреннего трения, φ°	26-30	
5	Сцепление, C , кПа	1,6	
6	Удельное сопротивление R , кПа	1,2-2,0	
	рыхлое состояние	25,0-28,0	
	уплотненное состояние		

Море Дождей. Исследования выполнялись «Луноходом-1» (прилунение 17.11.1970 г.) и «Аполлоном-15» с астронавтами Д. Скоттом и Д. Ирвингом (прилунился 31.07.1971 г.).

Результаты исследований сведены в табл. 6.

Таблица 6

Результаты исследований физико-механических характеристик лунного реголита в районе Моря Дождей

№ п/п	Параметры	Инструмент исследований	
		«Луноход-1»	«Аполлон-15»
1	2	3	4
1	Структура	Грунт пылевато-песчаный с размером частиц менее 1 мм	-
2	Объемный вес, γ , Н/см ³	(1,5-1,7)*10 ⁻²	(1,36-2,15)*10 ⁻²
3	Коэффициент пористости, ε	0,75-1,00	-
4	Несущая способность σ , кПа	20-100	9
5	Сопротивление вращательному срезу, τ , кПа	2-9	-
6	Сцепление, C , кПа	4-5	-
7	Пористость, n , %	-	32-58
8	Модуль общей деформации, E , кПа	-	55-165
9	Удельный вес отдельных зерен, Н/см ³	-	(2,9-3,2)*10 ⁻²

Кратер Фра-Мауро. Исследования выполнялись экипажем «Аполлона-14» с астронавтами А. Шепардом и Э. Митчеллом (прилунение 05.02.1971 г.).

Результаты исследований сведены в табл. 7.

Таблица 7

Результаты исследований физико-механических характеристик лунного реголита в районе Кратера Фра-Мауро

№ п/п	Параметры	Инструмент исследований
		«Аполлон-14»
1	Структура	От сыпучего мелкозернистого грунта до крупнозернистых сцементированных кристаллов горных пород
2	Объемный вес, γ , Н/см ³	$(1,60-1,75) \cdot 10^{-2}$
3	Коэффициент пористости, ε	0,62-0,77
4	Угол внутреннего трения, φ°	35,0-43,2
5	Сцепление, C , кПа	0,34-0,60

Район между Морем Изобилия и Морем Кризисов. Исследования выполнялись АЛС «Луна-20» (прилунение 21.02.1972 г.).

Результаты исследований сведены в табл. 8.

Таблица 8

Результаты исследований физико-механических характеристик лунного реголита в районе между Морем Изобилия и Морем Кризисов

№ п/п	Параметры	Инструмент исследований
		«Луна-20»
1	Структура	Рыхлая разнородная, средний размер частиц составлял от 70-80 мкм до 1 мм
2	Плотность, ρ , г/см ³ - насыпное, рыхлое состояние - уплотненное состояние	1,040 1,798
3	Коэффициент пористости, ε	1,88; 0,67
4	Коэффициент поперечного расширения, μ	0,44-0,45
5	Коэффициент бокового давления ξ	0,78-0,82
6	Плотность, ρ , г/см ³	1,6

Кратер Декарт. Исследования выполнялись экипажем «Аполлона-16» с астронавтами Д. Янгом и И. Дьюком (прилунение 21.04.1972 г.).

Фундаментальные исследования физико-механических характеристик

тик лунного ґрунта не проводились.

Юго-восточная и восточная оконечности Моря Ясности. Исследования выполнялись экипажем «Аполлона-17» с астронавтами Ю. Сернаном и Х. Шмиттом (прилунение 11.12.1972 г.) и передвижной лабораторией «Луноход-2» (прилунение 16.01.1973 г.).

Изучение физико-механических характеристик лунного реголита экипажем «Аполлона-17» не проводились. Полученные результаты передвижной лаборатории «Луноход-2» сведены в табл. 9.

Таблица 9

Результаты исследований физико-механических характеристик лунного реголита в районе Юго-восточной и восточной оконечности Моря Ясности

№ п/п	Параметры	Инструмент исследований
		«Луноход-2»
1	Структура	Грунт мелкозернистый, легкодеформируемый
2	Угол внутреннего трения, φ°	20-24
3	Несущая способность для всей трассы σ , кПа	35-40
4	Коэффициент пористости, ε	0,9
5	Плотность ґрунта, ρ , г/см ³	1,6
6	Сопротивление вращательному сдвигу, r , кПа	6

Приведенные данные, несмотря на свое огромное значение, получены лишь для незначительной части лунной поверхности и небольших глубин реголита, что является недостаточным и требует дополнительных исследований. Однако эти участки, уже сейчас, пусть в первом приближении, можно рассматривать как потенциальные площадки для проведения на них строительно-монтажных работ, что является первым шагом на пути к освоению Луны и её недр, а также создания реальных предпосылок к организации в космосе производственно-технических комплексов.

Известно, что на сегодняшний день различные компании и государственные предприятия как по контрактам с правительствами своих стран, так и за собственные средства занимаются разработкой, проектированием и созданием соответствующих машин и оборудования. В это вкладываются крупные капиталы, которые в дальнейшем, как считают, будут всемерно возрастать. Уже созданы и продолжают создаваться различные виды технических средств и оборудования – от гео-

логических молотков, миниатюрных реактивных двигателей, позволяющих астронавту совершать прыжки через кратеры и различные расщелины, облегченных и грузовых транспортных средств и передвижных лабораторий, до парящих платформ, предназначенных для проведения спасательных работ, роботов многоцелевого назначения, интеллектуальных робототехнических комплексов, различных источников энергии, превращающих солнечную энергию в электрическую, а в перспективе топливных или ядерных источников.

В дополнение к этому, в данной статье была сделана попытка разработать хотя бы в первом приближении техническое решение (рис. 3), например для формирования в толще реголита (там где позволяет глубина его залегания) цилиндрических линейно-протяжных полостей (подлунных коммуникаций), например, термическим способом за счет спекания и оплавления их стенки под действием облучающего потока электромагнитных волн сверхвысокой частоты (СВЧ). Такие линейно-протяжные полости с закрепленными стенками, в перспективе возможно грунтотрубы, имели бы многоцелевое назначение и представляли бы существенный интерес для подлунного строительства.

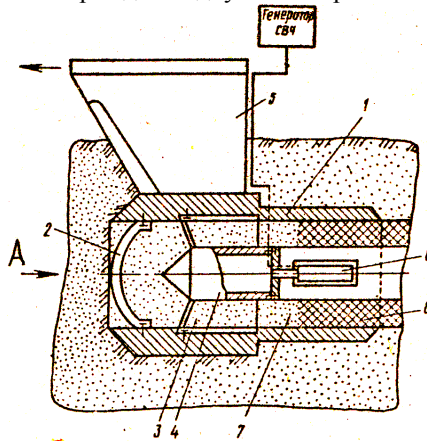


Рис. 3. Техническое решение устройства для формирования в реголите цилиндрических полостей за счет оплавления их стенки под действием СВЧ электромагнитного излучения

Устройство состоит из головки 1, в передней части которой расположены ножи 2 предварительного рыхления и ножи-стойки 3, которые являются связующим звеном между внутренней поверхностью её корпуса и цилиндрическим деформатором с конусным наконечником 4.

Головка зафіксована на ножі 5. В задній її частині, за даним деформатором, знаходиться пристосування для термічного формування стінки циліндричної ґрунтової порожнини, виконане в вигляді випромінювача 6 хвиль СВЧ. Позицією 7 позначено ґрунтову область між внутрішньою поверхнею головки 1 і зовнішньою поверхнею деформатора 4. Позицією 8 – позначено стінку циліндричної порожнини, утворену в результаті спекання і оплавлення частинок ґрунту під дією хвиль СВЧ від випромінювача 6.

Устрійство працює наступним чином.

В разі переміщення (під дією зовнішнього силового пристрою) ножа 5, головка 1 буде рухатися в ґрунтовій масі, яка ножами 2 і 3 перемішується. При цьому, в просторі між деформатором 4 і внутрішньою поверхнею задньої частини головки 1, виникне деяке ущільнення ґрунту 7, який потрапляє в область дії випромінювача 6 і буде піддаватися облученню енергією електромагнітного поля СВЧ. В результаті цього формується лінійно-протяжна ґрунтова порожнина зі стінкою, утвореною за рахунок спекання і оплавлення частинок реголіта.

Дія цього пристрою передбачено в комплексі з зовнішнім силовим пристроєм, наприклад спеціальної конструкції тягачем, обладнаним джерелом енергії (трансформуючим сонячну енергію в електричну), призначеним для живлення генератора СВЧ електромагнітного поля і решти елементів високочастотного формувача ґрунтових порожнин. Для проведення оціночних розрахунків необхідно попередньо обґрунтувати частоту СВЧ електромагнітних хвиль генератора, потужність випромінювача, визначити удільну теплоємність реголіта, задати його щільність, температурою плавлення, діаметром циліндричної порожнини, а також глибиною проникнення випромінювання в її стінку.

Висновки. В статті проаналізовані, систематизовані і таблицьно представлені результати лабораторних, прямих і аналітичних досліджень фізико-механічних властивостей лунного реголіта з дев'яти ділянок її поверхні. Це представляє суттєвий інтерес з точки зору вивчення його взаємодії з різними контрольованими тілами, можливість побудови математичних моделей систем «реголіт – робочий орган – машина» і дослідження впливу на них зовнішніх факторів, що дозволяє створювати технічні рішення різних пристроїв, машин і агрегатів для виконання будівельно-монтажних робіт на Луні. В цьому аспекті, в першому наближенні, розроблено технічне рішення пристрою для формування в рего-

лите цилиндрических линейно-протяжных полостей с закреплёнными стенками за счет их оплавления под действием СВЧ электромагнитного излучения

1. Кованько В. В. Свойства лунного грунта и проблемы его разработки : монография / Кованько В. В., Лустюк Н. Г., Комиссарчук А. А., под ред. В. В. Кованько. – Львов : Свросвіт, 1998. – 191 с. 2. Беляков И. Т. Технология в космосе / Беляков И. Т., Борисов Ю. Д. – М. : Машиностроение, 1974. – 292 с. 3. Боно Ф. Перспективы освоения космоса / Боно Ф., Готланд К. – М. : Машиностроение, 1975. – 230 с. 4. Результаты исследований физико-механических свойств образца лунного грунта в исследовательском боксе в среде азота / Леонович А. К., Громов В. В., Дмитриев А. Д. и др. // Лунный грунт из Моря Изобилия. – М. : Наука, 1974. – С. 563-570. 5. Веденин А. И. Исследование механических свойств лунного грунта и его аналогов в различных атмосферных условиях и вакууме на установке ТОР-1 / Веденин А. И., Духовской Е. А., Маркачев В. В. // Лунный грунт из Моря Изобилия. – М. : Наука, 1974. – С. 571-581. 6. Духовской Е. А. Исследование фрикционных свойств лунного грунта / Духовской Е. А., Мотовилов Э. А., Силин А. А. // Лунный грунт из Моря Изобилия. – М. : Наука, 1974. – С. 582-586. 7. Леонович А. К. Основные особенности процессов деформации и разрушения лунного грунта / Леонович А. К., Громов В. В., Дмитриев А. Д. // Космохимия Луны и планет : Труды Советско-Американской конференции по космохимии Луны и планет). – М. : Наука, 1975. – С. 585-592. 8. Стренгвей Д. В., Пирс Г. В., Олхофт Г. Р. Магнитные и диэлектрические свойства лунных образцов / Стренгвей Д. В., Пирс Г. В., Олхофт Г. Р. // Космохимия Луны и планет : Труды Советско-Американской конференции по космохимии Луны и планет. – М. : Наука, 1975. – С. 712-727.

Рецензент: д.т.н., профессор Ткачук А. А. (НУВГП)

Kovanko V. V., Doctor of Engineering, Professor, Drevetskyi V. V. Doctor of Engineering, Professor, Kovanko O. V., Post-graduate Student (National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

ABOUT THE QUESTION OF HUMAN ENGINEER ACTIVITY ORIGINS ON THE MOON

The results of laboratory, straightforward and analytic researches of physical and mechanical characteristics and chemical structure of regolith from nine parts of lunar surface investigation are shown in the article. These investigation open possibility to research and to engineer different kinds of tools and devices for the use on the Moon. The

technical solution of one of these devices for laying the cylindrical cavities with termically fixed walls under the lunar surface mentioned here.

Keywords: lunar regolith, automatic lunar station, project “Lunohod”, project “Applolon”, lunar soil, lunar mechanical engineering, space technologies.

Кованько В. В., д.т.н., професор, **Древецький В. В.**, д.т.н., професор, **Кованько О. В.**, аспірант (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ДО ПИТАННЯ ЗАПОЧАТКУВАННЯ ІНЖЕНЕРНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЛЮДИНИ НА ПОВЕРХНІ МІСЯЦЯ

Наведено результати лабораторних, прямих і аналітичних досліджень фізико-механічних характеристик реголіту Місяця з дев'яти ділянок досліджуваної місячної поверхні. Зроблено висновок щодо можливості розроблення і проектування на цій основі відповідних технічних засобів, обладнання та їхніх робочих органів. Представлено технічне рішення пристрою для прокладання в реголіті лінійно-протяжних циліндричних порожнин з закріпленими стінками тепловим способом.

Ключеві слова: реголіт Місяця, автоматична місячна лабораторія, самохідна лабораторія «Луноход», програма «Аполлон», ґрунтознавство Місяця, місячне машинобудування, космічні технології.
