

M.N. Okhochinskiy

FIRST TRACK ON THE MOON. FROM HISTORY OF CREATING LUNAR SELF-PROPELLING LANDING GEAR

Mikhail Okhochinskiy – senior lecturer, the Department of Rocket Production, D. Ustinov Baltic State Technical University (Voenmeh), corresponding member of Russian Academy of Natural Sciences, corresponding member of K. Tsyolkovskiy Russian Space Exploration Academy, recipient of the Prize of St. Petersburg in Education, St. Petersburg; **e-mail: rk-voenmeh@yandex.ru.**

We look at the history of making the first lunar self-propelling landing gear that worked on the surface of the Earth satellite as a part of the automated remotely controlled spacecraft Lunokhod-1. We demonstrate the role of Mobile Vehicle Engineering Institute and Lavochkin Research and Production Association in designing spacecraft that was a pioneer in implementing the new technology of distance contact study of the planets belonging to the Solar system using space robotized complexes.

Keywords: Lunokhod-1; lunar self-propelling landing gear; motor-in-wheel; trafficability evaluator; landing gear automatic control unit; remote control technology.

М.Н. Охочинский

ПЕРВАЯ КОЛЕЯ НА ЛУНЕ. ИЗ ИСТОРИИ СОЗДАНИЯ ЛУННОГО САМОХОДНОГО ШАССИ

Михаил Никитич Охочинский – доцент кафедры «Ракетостроение», Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (БГТУ «ВОЕНМЕХ»), член-корреспондент РАЕН, член-корреспондент Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, лауреат премии Правительства Санкт-Петербурга в области образования, г. Санкт-Петербург; **e-mail: rk-voenmeh@yandex.ru.**

В статье рассматривается история создания первого в мире лунного самоходного шасси, работавшего на поверхности естественного спутника Земли в составе автоматического дистанционно управляемого аппарата «Луноход-1». Показана роль Научно-исследовательского института транспортного машиностроения (ВНИИТМ) и Научно-производственного объединения имени С. А. Лавочкина (НПОЛ) в разработке космических аппаратов, впервые реализовавших новую технологию дистанционного контактного исследования планет Солнечной системы с помощью космических роботизированных комплексов.

Ключевые слова: Луноход-1; лунное самоходное шасси; мотор-колесо; прибор оценки проходимости; блок автоматики шасси; технология дистанционного управления.

В 2020 г. отмечается пятидесятилетие одного из ключевых событий в истории изучения и освоения человеком космического пространства.

17 ноября 1970 г. первый в мире дистанционно управляемый автоматический самоходный аппарат «Луноход-1», подчиняясь командам водителя-оператора, на-

ходящегося на расстоянии почти в 400 тыс. км, плавно съехал по направляющим посадочной ступени станции «Луна-17» и проложил на поверхности естественного спутника Земли первую колею.

Началась эпоха дистанционного контактного исследования планет Солнечной системы с помощью космических работи-

зированных комплексов. Луна стала первым объектом, изучение которого позволило продемонстрировать работоспособность и состоятельность такой технологии. А сегодняшний темп создания чувствительных роботов приводит к тому, что автоматы все более и более вытесняют людей из сфер деятельности, опасных для их жизни и здоровья. И, что характерно, прогресс в создании робототехнических систем существенно опережает темпы развития космических технологий, связанных с доставкой на другие планеты пилотируемых экспедиций.

Мы остановимся на истории создания лунного самоходного шасси – того элемента комплекса аппаратуры, доставленного на Луну, который превратил «Луноход-1» не просто в контейнер с научными приборами, перемещающийся из одной точки поверхности в другую. Как отмечают авторы капитального труда «Космические роботизированные комплексы. Ленинградская – Санкт-Петербургская научно-конструкторская школа», именно самоходное шасси превратило «Луноход-1» в оживленное транспортное средство, обладавшее определенным родом искусственным интеллектом [39, с. 16].

О «Луноходе-1» с того момента, когда началась его долгая лунная эпопея, много писали отечественные средства массовой информации. Всего сутки спустя после того, как аппарат прошел по поверхности Луны первые метры, появилась беседа с тогда еще безымянным «руководителем работ по созданию самоходного шасси» [18]. Лишь позже, через достаточно долгий промежуток времени стало известно его имя – *Александр Леонович Кемурджян* (1921–2003), доктор технических наук, профессор, лауреат Ленинской премии. Но 18 ноября 1970 г. это был именно «руководитель разработки», беседовавший с корреспондентом газеты «Известия» Б. Колотовым. Удивительно, но в этом самом первом опубликованном для широкой публики материале уже очень четко сформулированы и требования к инопланетному транспорту, и трудности, стоявшие перед его создателями, и основные технические задачи, которые были ус-

пешно решены.

Отметим, что к настоящему времени опубликовано около 200 книг и больших научных статей, которые позволяют проследить, как создавался и эксплуатировался «Луноход-1» и его важнейший составной элемент – самоходное шасси. В рамках настоящей статьи мы сможем обратиться только к наиболее содержательным из них. Так, работы [6; 8; 9; 30; 34; 35; 36] посвящены научным результатам, полученным при «первом лунном путешествии» – так часто именовали экспедицию «Лунохода-1» в прессе. Публикации [3; 5; 13; 14; 15; 16; 37] рассказывают об особенностях конструкторских решений, принятых при разработке самоходного шасси, и с течением времени такие материалы становятся все подробнее и точнее, постепенно затрагивая и перспективы развития дистанционно управляемых роботизированных транспортных средств. Наконец, третья группа публикаций [1; 2; 4; 7; 10; 11; 12; 17; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 26; 29; 31; 32; 33; 38; 39; 40; 41; 42; 43] посвящена именно истории создания лунного самоходного шасси, раскрывая читателям различные аспекты этого долгого и интересного творческого процесса.

При внимательном анализе упомянутых работ постепенно выясняется: на сегодня еще не сформирована обобщенная история разработки луноходного шасси. Очень много участников работ, много публикаций и воспоминаний, касающихся отдельных эпизодов, важных, но подчас мелких деталей. Представляется, что только авторы работы [39], многие из которых – непосредственные участники создания шасси, попытались выстроить в своем исследовании более или менее последовательную в историческом плане картину. Поэтому основная работа по созданию полной истории появления «Лунохода-1» на свет – еще впереди.

Мы же здесь постараемся, ориентируясь на опубликованные материалы, показать последовательность разработки луноходного шасси, попытавшись при этом продемонстрировать основные направления движения конструкторской мысли. Ограничившись, впрочем, вполне опреде-

ленными временными рамками – от первых высказанных идей до появления реальных образцов будущего лунного шасси, вышедших на комплексные испытания.

Начальный этап: первые подходы, первые предложения

23 сентября 1963 г. руководитель знаменитого ОКБ-1 Сергей Павлович Королёв утвердил документ «Предложения по исследованию и освоению Луны в 1963–1968 гг.» [19], который был представлен руководству страны. Как отмечает историк космонавтики В.Н. Куприянов, в этом документе уже присутствует раздел, посвященный «основным особенностям самоходного аппарата для исследования лунной поверхности» и указывается состав этого аппарата – ходовая часть, обеспечивающая «перемещение по поверхности Луны со скоростью до 4 км/ч», приборный контейнер и система энергопитания [24, с. 183, 184]. По сути, здесь, пожалуй, впервые в общих чертах было сформировано новое научное направление – исследование поверхности планет Солнечной системы с помощью беспилотных автоматических аппаратов.

Тогда же С.П. Королёв обратился к секретарю ЦК КПСС Д.Ф. Устинову, курировавшему от имени правительства все космические работы, а также – по подчиненности – к председателю Госкомитета по оборонной технике (ГКОТ) С.А. Звереву с просьбой рекомендовать конструкторскую организацию для совместных работ по созданию планетоходного шасси. Последовал ответ: обратитесь в ленинградский институт ВНИИ-100 (с 1966 г. – ВНИИТрансмаш) к его директору В.С. Старовойтову, что Главный конструктор и сделал.

Обращение это В.С. Старовойтовым было самым внимательным образом рассмотрено и в результате принято. В письме от 13 сентября 1963 г. 12-го управления Госкомитета было сформулировано конкретное задание [24, с. 184]: «...в соответствии с поручением Председателя ГКОТ СССР в отделе новых принципов движения ВНИИ-100 должна быть организована группа для изучения и опреде-

ления возможных направлений работ по созданию самоходных средств передвижения по поверхности Луны».

Перспективная разработка получила шифр «Шар» (Л-2), а возглавить ее руководство института поручило начальнику отдела новых принципов движения А.Л. Кемурджиану. Александр Леонович поступил на работу во ВНИИ-100 в 1951 г., будучи не просто молодым специалистом, который только что закончил МВТУ им. Н.Э. Баумана: за его плечами были фронтовые годы Великой Отечественной войны, обогатившие его огромным опытом работы с людьми, а также умением принимать решения в сложных ситуациях при большом дефиците времени.

В 1959 г. А.Л. Кемурджиан стал начальником только что созданного отдела новых принципов движения. Задачей этого подразделения было изучение возможности применения в сухопутных боевых машинах принципов воздушной подушки и экрана. Исследования, проводившиеся в отделе по обеим темам в течение нескольких лет, в 1963 г. подошли к завершению. Полученные результаты показывали, что во ВНИИ-100 сложился коллектив, способный решать абсолютно оригинальные научно-технические задачи, что появился руководитель, умеющий организовывать сложные работы и доводить их до конечного результата. И следующей темой работ этого коллектива стало именно лунное шасси.

В те годы в ходу была научная гипотеза австралийского астрофизика Томаса Голда, согласно которой Луна считалась покрытой многометровым слоем мелкодисперсной пыли. Такое представление о лунной поверхности некоторым образом подтвердила и станция «Луна-2», которая в сентябре 1959 г. впервые «попала в Луну». Прилунение было жестким, от удара на поверхности образовались две воронки, а астрономы Швеции и Венгрии зафиксировали два больших темных облака протяженностью в несколько километров, поднятых самой станцией и упавшей рядом последней ступенью ракеты-носителя.

Гипотезу Голда разделяли не все уче-

ные, поэтому по поводу типа движителя для луноходного шасси высказывались разные точки зрения [40, с. 45]. Так, известный ученый, конструктор советских пилотируемых космических кораблей К.П. Феоктистов, впоследствии – летчик-космонавт, исходя из посылки, что лунная поверхность твердая, полагал, что по ней «на велосипеде можно будет ездить». Противоположную точку зрения излагал академик П.Л. Капица: в качестве будущего лунного транспортного средства он видел плот, а приводить его в движение предполагал отталкиванием, чуть ли не шестом; лунный грунт, по его мнению, должен был обладать очень малой несущей способностью.

Становится понятным, в какой сложной ситуации оказался коллектив А.Л. Кемурджиана уже в самом начале работы, и он сразу занялся вопросом получения адекватной физической модели лунной поверхности. И вот – удача, достаточно быстро были найдены специалисты, занимавшиеся изучением лунной поверхности, – астрофизики, сотрудники Горьковского университета, академик В.С. Троицкий и молодой ученый В.М. Кротиков. Проведенное ими радиозондирование Луны показало, что слабо связанная пыль покрывает поверхность Луны на глубину, равную приблизительно 30 см, и с глубиной плотность грунта только увеличивается. Затем, при участии НИИ камня и силикатов АН Армянской ССР, были выбраны земные материалы с наиболее близкими к предполагаемым лунным механическими характеристиками. Это были образцы пемзы, вулканического шлака и туфа. Правда, первая попытка А.Л. Кемурджиана получить признание этой модели специалистами АН СССР успехом не увенчалась; некоторое время модель грунта использовалась разработчиками, будучи официально не утвержденной заказчиком.

Но наличие даже этой, приближенной и неофициальной, модели лунного грунта позволило провести сравнительную теоретическую оценку многих вариантов конструктивных схем движителей шасси – применительно к их тягово-сцепным характеристикам и проходимости в лунных

условиях. В первую очередь, рассматривались гусеничные и колесные движители, а также устройства весьма экзотические, например, роторные и шагающие.

Так, для лунного шасси как возможный вариант была рассмотрена модульная схема четырехгусеничного движителя. Эта схема, не прошедшая в окончательный проект лунного шасси, позже получила реализацию в перспективных планетоходах для исследования удаленных планет Солнечной системы.

Прорабатывалась и схема колесного движителя: это было четырехколесное шасси с металлическими упругими колесами; в ступицу каждого был вмонтирован электродвигатель с редуктором. Макет этого устройства, как и вышеупомянутого, был реализован, поскольку возможное наличие абразивных частиц в лунном грунте требовало экспериментальной проверки функционирования однорядного редуктора в запыленной среде. Несмотря на земные условия проведения экспериментов, результаты оказались весьма ценными при проектировании редукторов для лунных самоходных аппаратов.

Сразу проявившая себя проблема ресурса лунного шасси была тесно связана с обеспечением его безаварийной работы при движении по неведомым лунным грунтам. Тут был найден единственный выход – тактильное ощущение шасси, чтобы оно могло как бы «ощупывать» поверхность по направлению движения. Было предложено оценивать механические свойства лунного грунта принудительным внедрением в него конического штампа; позже эта идея была положена в основу оригинальных приборов для оценки механических свойств планетных грунтов.

По сути, уже на начальном этапе исследований возникла идея оснащения шасси прибором оценки опорной проходимости (далее – ПрОП). Дистанционное управление самоходным шасси представлялось невозможным без автоматического определения пройденного им пути, поэтому было решено определять этот путь с помощью свободно катящегося колеса. Таким образом, идеи ПрОП и свободного колеса обусловили концептуальную про-

работку лунного шасси не просто как некоего носителя научного оборудования. По сути, на самом начальном этапе работ была сформирована принципиально новая идея – идея создания лунного робототехнического комплекса.

В итоге к маю 1964 г. во ВНИИ-100 была обоснована возможность создания лунного шасси, подготовлено предварительное техническое задание, а также системная программа обеспечения этих работ.

Отчет коллектива ВНИИ-100, содержащий результаты этих выполненных разработок, был назван «Определение возможности и выбор направления в создании шасси аппарата «Л-2»; он увидел свет в июне 1964 г. [24, с. 185]. В этом отчете на основе аналитических, конструкторских и экспериментальных работ была изложена инженерная концепция создаваемого лунного шасси. Был приведен его возможный технический облик – как в гусеничном, так и в колесном вариантах, и, кроме того, авторы отчета сформулировали основные проблемы, связанные с реализацией аппарата, что называется, «в металле».

О главной проблеме речь уже шла выше, и проблема эта действительно казалась тогда трудноразрешимой – каков же он, грунт Луны? В упомянутом отчете этому было посвящен целый раздел, большую цитату из которого приводит в своих исследованиях В.Н. Куприянов; этот текст мы посчитали необходимым привести и здесь [24, с. 186]: «... Силикатная порода в пенно-пористом или раздробленном состоянии, состоящая из 40–70% SiO₂, 10–30% Al₂O₃, остальные окислы железа, кальция, калия, натрия, магния, что соответствует вулканическим туфам, шлакам или пирокластическим материалам на Земле. Структура вещества сильно переработана под воздействием вакуума, жестких излучений, солнечного ветра и метеорных ударов, приводящих к иссечению породы и формированию особого грунта «лунита», не имеющего прямых аналогов на Земле. Прочность наружного покрова 0,2–1,0 кг/см²». Этот экзотический термин «лунит» в этом отчете

появился впервые, но такое наименование впоследствии не прижилось.

Сдачу этого, предварительного этапа работ, все необходимые отчетные мероприятия было решено провести в организации-исполнителе. И представитель заказчика, академик Сергей Павлович Королёв был приглашен в Ленинград, во ВНИИ-100.

Приехал С.П. Королёв с большой группой заинтересованных в результатах работы лиц, большинство из которых были его давними соратниками: М.К. Тихонов, С.С. Крюков, К.Д. Бушуев, А.П. Абрамов, В.В. Молодцов, В.П. Зайцев (последний в королёвском ОКБ-1 «вел» проект лунохода и курировал работы с ВНИИ-100). Со стороны ВНИИ-100 в проведенном совещании участвовали: В.С. Старовойтов – директор, А.Л. Кемурджиан (основной докладчик), Г.Н. Москвин (начальник конструкторского отдела), Ф.Н. Абрамов (начальник планового отдела), А.В. Мицкевич, В.И. Комиссаров, И.И. Розенцвейг, П.Н. Бродский, М.Б. Шварцбург, Л.Х. Коган, А.П. Софьян и др.

Как отмечают авторы монографии «Космические роботизированные комплексы», этот визит Королева в Ленинград, как любое значимое событие, быстро оброс легендами и конструкторскими «байками» [39, с. 16]. Так, по свидетельству И.С. Болховитинова, одного из активных участников создания луноходного шасси, Королёв перед началом работ с ВНИИ-100, вспоминая имевшийся опыт, предыдущий, не самый удачный, по работам с организациями-соисполнителями по «луноходной теме», якобы сказал: «Интересно бы посмотреть на этих чудаков, которые за такую работу запросили столь мало». Получив же приглашение приехать в Ленинград для участия в сдаче отчета, пошутил: «Ладно, я давненько в Русском музее не был <...> Приеду». Исторический визит состоялся 31 мая 1964 г.

Естественно, в ходе обсуждения будущей работы «всплыл» вопрос о ресурсе создаваемого шасси. А.Л. Кемурджиан в своем выступлении определил его в 1000 км пройденного пути. По воспоминаниям

Болховитинова, здесь последовала реплика Королёва: «...Вы хоть десять километров пройдите. Уменьшите вы этот ресурс». После дискуссии решили заявить 100 км, предложенная Королёвым «десятка» выглядела как-то несолидно. Впрочем, здесь Сергей Павлович оказался абсолютно прав: первый луноход прошел именно те самые десять километров. Но, справедливости ради, надо вспомнить, что тут был не отказ шасси, а запыленность и деградация солнечных батарей. Сколько реально прошел бы этот первый аппарат, сегодня сказать трудно, у второго лунохода «пробег» составил под сорок километров...

С.П. Королёв активно участвовал в обсуждении доклада, который сделал А.Л. Кемурджиан, живо интересовался представленными иллюстративными материалами. Как конструктор «от Бога», он не мог не оценить и широту охвата, и глубину разработок, пусть даже предварительных, и системную организацию работ, и обоснованность запрашиваемой разработчиками опытно-экспериментальной базы. По итогам обсуждения отчета Королёв якобы сказал: «...вижу, дело в надлежащих руках. Вам делать». А на вопрос о том, какой же вариант шасси выбрать – гусеничный или колесный – последовал ответ: «Вы специалисты, вам и решать».

Рискнем предположить, что участие в обсуждении этого отчета о предварительном этапе работ по созданию лунного шасси, которому предстояло передвигаться по предположительно твердой лунной поверхности, побудило С.П. Королёва 28 октября 1964 года официально утвердить модель лунного грунта: «...достаточно твердый грунт типа пемзы...» [38, с. 253].

Таким образом, в наступавшем 1965 году ВНИИ-100 был готов приступить к конкретной конструкторско-экспериментальной работе над летным образцом лунохода. Коллектив, руководимый А.Л. Кемурджианом, сосредоточился на создании самоходного шасси, которое, как мы уже говорили, и делало этот аппарат лунным роботизированным транспортом. Начало конкретного проекта было офици-

альным образом окончательно оформлено в решении № 23 Военно-промышленной комиссии при СМ СССР, 10 февраля 1965 года поступившим во ВНИИ-100.

Техническое задание не изменилось по отношению к предварительному: масса шасси – не более 900 кг, скорость – около 4 км/ч, потребляемая мощность 1000 Вт в течение 10 минут и 250 Вт – номинальная. И это только для механизмов подвижного шасси. Будущая самоходная машина должна работать в условиях перепада температур от +150°C до –130°C, при пониженной гравитации, в вакууме и других «особенностях климата» на поверхности Луны.

На всех широко известных фотографиях Лунохода-1 мы видим хорошо знакомое нам по публикациям в средствах массовой информации восьмиколесное шасси. Впервые эти восемь колес появились в конструкторской проработке лунного аппарата в следующем отчете ВНИИ-100 (май 1965 г.) по теме «Шар», в варианте, который должен был обеспечить повышенную надежность системы. Заметим – в выводах по проведенным работам вариант гусеничного движителя пока не отметался [24, с. 187].

Для отработки ходовых качеств шасси с гусеничным движителем был создан его упрощенный ходовой макет, а для проверки шасси с колесным движителем – упрощенный ходовой четырехколесный макет. В соответствии с техническим заданием ОКБ-1 оба макета выполнялись по одинаковой компоновочной схеме: рама, на которой в дальнейшем предусматривалось размещение модульного оборудования, с присоединенным к ней движителем. Оба макета прошли ходовые испытания на полигоне ВНИИ-100 в самых различных грунтово-рельефных условиях, и были получены сравнительные оценки тягово-сцепных характеристик того и другого типа движителей. Ходовые макеты оснащались телекамерами для отработки дистанционного управления шасси. Они позволили более четко сформулировать требования к блоку автоматики шасси (БАШ) – по сути, мозговому центру роботизированного комплекса, а также еще раз пока-

зали необходимость определения опорной проходимости грунта в направлении движения.

Все ходовые испытания были сняты на киноплёнку, и фильм стал составной частью представленного в мае 1965 г. отчета [39, с. 21].

В конце 1965 г. под председательством С.П. Королёва состоялось расширенное заседание научно-технического совета ОКБ-1, на котором А.Л. Кемурджиан и его заместитель П.С. Сологуб доложили о результатах, полученных в ходе работ ВНИИ-100.

Процитируем воспоминания П.С. Сологуба [40, с. 46]: «...Результаты работы были одобрены и приняты для дальнейшей реализации <...> После окончания НТС Сергей Павлович познакомил нас с Главным конструктором НПО им. С.А. Лавочкина Бабакиным Георгием Николаевичем и его заместителем Ишевским Валентином Евграфовичем и сказал, что дальнейшая работа передается в эту организацию. Мы были искренне удивлены, но вопросы задавать не стали. С.П. Королёв пригласил нас пройти к нему в кабинет, где продолжалось уже неофициальное обсуждение дальнейших взаимоотношений ОКБ-1 с ВНИИТрансмаш. Сергей Павлович посетовал на существующие в настоящее время сложности по созданию комплекса Н-1, в том числе и политические, но уверил, что Луну американцам не отдадим! Относительно дальнейшего сотрудничества ВНИИТрансмаш и ОКБ-1 Королёв сказал, что есть идеи на этот счет, но обсуждение их проведем в феврале 1966 г. после возвращения из больницы, в которую он ложится в начале января. К великому сожалению этим планам сбыться было не суждено. В январе Сергея Павловича не стало».

А.Л. Кемурджиан и П.С. Сологуб подробно обсудили с Г.Н. Бабакиным будущую совместную работу. Бабакин попросил передать на его фирму все материалы по первому этапу работы и сделать доклад для ведущего конструкторского состава на расширенном заседании научно-технического совета. Были согласованы сроки подробного знакомства разра-

ботчиков шасси с новым для них предприятием-заказчиком.

Создание концепции лунного самоходного шасси

Итак, начался новый этап создания лунохода, начиналась работа с Научно-производственным объединением им. С.А. Лавочкина (далее – НПОЛ), ставшего головной организацией нашей страны по лунным исследованиям. И коллектив ВНИИ-100 (ВНИИТМ) приступил к работе, выполняемой, по сути, впервые в мире, – разработке, изготовлению и поставке макетных и летных образцов луноходного шасси. При этом требовалось пройти большой комплекс приемо-сдаточных, конструкторско-доводочных и контрольно-выборочных испытаний с предъявлением окончательного результата космической приемке. В соответствии с уточненным техническим заданием в чрезвычайно сжатые сроки предстояло создать лунное шасси, которое становилось, с одной стороны, элементом системы «посадочный модуль – шасси», а с другой – «контейнер-шасси».

К этому времени шасси уже представлялось разработчикам как набор модулей с четко выделенными функциями – движители, прибор для оценки проходимости (далее – ПрОП) и определения пройденного расстояния, а также «мозг» всей системы – блок автоматики шасси (БАШ). Естественно, все блоки интегрировались в единый комплекс, который именно тогда получил название «луноход».

Пройдя через долгие споры о типе движителя, разработчики завершили эксперименты с гусеничными системами (изначально казавшиеся перспективными – институт, долгие годы специализировавшийся на танкостроении, не мог вот так, сразу, оставить эту идею). Итогом стало техническое решение, предусматривавшее создание самоходного колесного движителя в виде четырех блоков, каждый из которых состоял из двух самоходных колес (как их называли, «мотор-колес»), в которых электродвигатель и редуктор размещался в герметизированной ступице) и системы подвески. Так появилось знаме-

нитое колесо лунохода [39, с. 25–26].

Это оригинальное ажурное колесо, выполненное из титана и алюминия, включало три титановых обода, обтянутых сеткой из нержавеющей стали. К сетке крепились титановые же пластины – так называемые грунтозацепы. Заметим, что использование в конструкции колеса «космического металла» – титана – потребовало освоения технологического процесса изготовления деталей из титановых сплавов, принципиально нового для танкового производства.

В результате в массовом отношении колесо луноходного шасси получилось удивительно свершенным: при собственной массе всего 2,7 кг оно, не теряя формы, выдерживало до 500 кг нагрузки. И, что важно, прочность колеса оказалась вполне высокой – достаточной, чтобы выдержать удар о жесткую преграду при скорости движения около 2 км/час.

Здесь надо отметить, что разработчики прекрасно понимали – при движении шасси в сложных условиях возможно «заклинивание» одного или нескольких приводов колес, и это станет препятствием дальнейшему движению лунохода. Выход был найден – в случае такого «заклинивания» следовало превратить колесо в свободно катящийся опорный каток. Для этого нашли интересное конструкторское решение: выходной вал редуктора колеса делался локально ослабленным, а вокруг него монтировался пиротехнический механизм разблокировки. При необходимости по команде с Земли осуществлялся подрыв пиропатрона, выходной вал разрушался, и колесо становилось свободно катящимся. В реальных условиях, к счастью, применять эту аварийную разблокировку не пришлось, все восемь колес «Лунохода-1» (а затем и его второго собрата) повода к таким «радикальным действиям» не дали [24, с. 187; 33, с. 131–132; 39, с. 27, 30–33].

Для создания необходимых условий надежной работы научного оборудования лунохода при его движении по сложному рельефу (а также в случае возможных столкновений с препятствиями) необходимо было парировать все возмущающие

воздействия на приборный контейнер. Для этого была создана специальная подвеска, обеспечившая механическую связь самоходного колеса с контейнером. Эта конструкция – «контейнер с научным оборудованием – упругая подвеска – самоходное колесо» – образовывала колебательную систему, в которой была вполне вероятно потеря контакта одного или нескольких колес с грунтом при разгоне-торможении лунохода, что, в принципе, могло привести даже к опрокидыванию аппарата. Требовалось демпфирование – гашение таких колебаний.

Поскольку в условиях лунного вакуума гидравлические и пневматические демпферы не работали, а электромагнитная система не могла использоваться из-за слишком большой массы и запредельной потребности в энергии, была создана рычажная система с жесткой отрицательной обратной связью. В конструкции этой системы использовался торсион без центрального стержня, и это позволило существенно сократить изгибные напряжения, возникающие в конструкции. Здесь также использовался «космический» титан. Как отмечает В.Н. Куприянов, были созданы различные конструктивные варианты торсиона, защищенные несколькими авторскими свидетельствами [23, с. 386–387].

Подчеркнем, что подвеска с торсионом без центрального стержня – уже второе абсолютно новое техническое решение (после самого мотор-колеса), которое затем прекрасно проявило себя в лунных условиях.

Было понятно, что лишь при наличии достоверной информации об опорной проходимости в направлении движения можно обеспечить безопасность перемещения шасси по лунной поверхности. Перед каждым очередным этапом движения водитель должен быть уверен, что шасси не утонет в лунной пыли, так пугавшей всех в то время. Требовалась непрерывная (или хотя бы периодическая) дискретная оценка проходимости, но...

И на момент создания луноходного шасси, да и сегодня надежных *дистанционных* методов реализации такой оценки не существует. Для этого есть лишь один

метод, всем хорошо известный: «ощупывание» поверхности в направлении движения, и именно этим методом решили воспользоваться разработчики шасси.

Проподимость грунта в известной мере определяется его сминаемостью и сдвигаемостью. Учитывая это, было предложено – тут опять уместно слово «первые» – определять опорную проподимость грунта принудительным и дозированным внедрением в него специального устройства – конического штампа с последующим его поворотом. Тогда при известном внедряющем усилии об опорной проподимости исследуемой поверхности можно судить по глубине проникновения штампа в грунт. Для реализации этого метода специалистами ВНИИТМ совместно с Московским институтом оснований и подземных сооружений была разработана конструкция соответствующего прибора, и на этой основе конструкторы НПОЛ выпустили техническую документацию, а затем изготовили и сам прибор, получивший название пенетрометр [43, с. 237–238]. На АМС «Луна-13», в декабре 1966 г. мягко «приземлившись» на лунную поверхность, пенетрометр, размещенный на специальном выносном механизме, успешно испытали в реальных условиях.

В луноходах был использован этот же принцип определения опорной проподимости в направлении движения. Луноходный ПрОП крепился к контейнеру, управлялся земным оператором и включался периодически. Конструктивно от своего прототипа он отличался тем, что конический штамп был оснащен лопастями, и это позволяло более точно определять свойства грунта на смятие и сдвиг. Мерой механических свойств грунта служил приложенный вращающий момент, точнее, значение токов в приводах заглубления и разворота штампа. Начало и конец измерения осуществлялись по командам с Земли, а собственно цикл измерения – автоматически по программным командам блока автоматики шасси. Информация о свойствах грунта поступала в БАШ, а из него транслировалась наземным операторам, – именно они принимали решение о дальнейшем движении [41, с. 374–375]. В

составе научного оборудования «Лунохода-1» прибор успешно отработал более 500 раз.

В перерывах же между работой ПрОП наземный оператор мог судить о механических свойствах поверхностного слоя лунного грунта по глубине следа, оставляемого дополнительным колесом – свободным, девятым в конструкции, которое прижималось к грунту с определенной силой. Это колесо могло перемещаться в вертикальной плоскости, соответствующий датчик выдавал электрический сигнал, направлявшийся в БАШ, а затем и на Землю. Он позволял судить о степени внедрения свободного колеса в грунт и, следовательно, о механических свойствах последнего. Таким образом, ПрОП оценивал механические свойства грунта в момент остановки лунохода, а свободное колесо – в процессе движения.

Отметим, что главным назначением свободного колеса все же являлось измерение пройденного расстояния, для чего применялся датчик числа оборотов, сигнал которого через БАШ транслировался на Землю. В итоге у наземных операторов оказывалась информация о неровностях поверхности и о пройденном расстоянии, выдаваемая свободным колесом, а также дополнительная информация от счетчиков оборотов самодвижущихся колес. В сумме вся эта информация позволяла расчетным путем оценить пройденное луноходом расстояние. Подчеркнем, что погрешность счисления пройденного пути на дистанции 3500 метров не превышала 30 см. Оценка была произведена по моменту пересечения собственного следа, когда на третий лунный день «Луноход-1» вернулся к месту прилунения [39, с. 34–35].

Но все составные части луноходного шасси, какими бы оригинальными они ни были, невозможно было бы использовать для исследования Луны, если бы не был создан БАШ – блок автоматики шасси.

БАШ выполнял двухстороннюю задачу связи лунохода с Землей: система «шасси – коллектив операторов» и система «коллектив операторов – шасси». Для выполнения первой функции логическое устройство блока производило опрос дат-

чиков и транслировало на Землю текущие значения их выходных сигналов, в частности, о токе двигателей восьми колес и частоте их вращения, о температуре в ступицах, о работе ПрОП и его штампапенетромметра, о работе свободного (девятого) колеса. Без этой информации было невозможно обеспечить безопасное вождение шасси.

Вторая функция БАШ, интерфейс «Земля – шасси», обеспечивала выполнение команд наземных операторов. Логика БАШ расшифровывала такие команды, как «вперед – назад», «поворот вправо – влево», «включить – выключить ПрОП», «опустить – поднять свободное колесо» и т.д. Расшифрованные команды превращались в управляющие сигналы, воздействовавшие на механизмы шасси, тем самым как бы «очувствляя» его и делая послушным воле земных операторов.

Следует отметить еще одну важнейшую функцию БАШ – автоматическое обеспечение безопасного движения в сложных условиях лунной поверхности. Прибор детектировал возможность возникновения аварийной ситуации, анализируя значения токов в двигателях колес, температуры в объемах ступиц, угловые положения шасси относительно лунной вертикали, и, при возникновении опасности, автоматически прекращал движение. Эта функция была чрезвычайно важной: информация о движении принималась по телевизионному изображению, поступающему на Землю с периодичностью 3–5 секунд (сумма времени прохождения телевизионного сигнала о ситуации и времени его визуальной обработки на экране монитора оператором). При непрерывном, пусть даже медленном, движении шасси в условиях сложного рельефа аппарат мог оказаться в аварийной ситуации как раз в интервалах между принятыми оператором решениями [39, с. 36–37].

Таким образом, шасси, оснащенное ПрОП и свободным колесом, а также системой других датчиков, упомянутых раньше, переставало быть просто транспортной машиной для перемещения по Луне научного оборудования. Простое колесно-транспортное средство, оснащен-

ное «очувствленными» колесами, превратилось в космический роботизированный исследовательский комплекс.

Создание технологии дистанционного управления луноходным шасси

Необходимо напомнить, что в период создания лунного шасси разработчики имели в своем распоряжении достаточно ограниченный набор средств техники для дистанционного управления объектом, находящимся на расстоянии порядка 400 тыс. км.

Первые же попытки управления движением ходовых макетов шасси по изображению «дорожной ситуации» на экране монитора с телевизионной камеры, размещенной на борту транспортного средства, показали, что это – очень сложный процесс. Непонятный масштаб изображения на экране, так сказать, «общий вид» местности, без привязки ее элементов к реальным размерам, и отсутствие обратной связи о точном исполнении переданной команды делали понимание ситуации водителем-оператором крайне затруднительным. Стало понятно, что даже выполнение простейших маневров требует разработки специальной технологии вождения [39, с. 38].

В результате в плане ходовых испытаний будущего Лунохода появился специальный раздел – работы по подготовке водителей шасси при участии сотрудников ВНИИ-100 (с марта 1966 г. получившего наименование ВНИИТМ – Всесоюзный научно-исследовательский институт транспортного машиностроения) с привлечением на финальной стадии работников ряда других организаций. На этом этапе испытаний еще не требовалось создавать специализированных полигонов, имитирующих лунные условия. Вполне достаточно было воспроизвести схожую рельефную среду, а для отработки технологии управления использовать упрощенный макет лунного шасси.

На открытом полигоне института, все годы специализировавшегося в создании танковых шасси, был выбран подходящий участок – на песчаной поверхности. Участок дооборудовали набором препятствий, которые, по представлению разработчи-

ков, могли встретиться в лунных условиях: кратеры, выступы, каменные гряды (предположения оказались верными). Их размеры и расположение относительно друг друга планировались таким образом, чтобы можно было между ними проложить учебно-тренировочные трассы с учетом возможностей шасси совершать безаварийное движение.

В качестве объекта для обучения использовался полноприводной четырехколесный макет шасси, оснащенный телевизионной камерой (производства Японии), информация с которой – по кабелю – передавалась на экран черно-белого монитора, размещенного в автофургоне. В этом импровизированном пункте управления находился водитель-оператор, наблюдающий дорожную ситуацию по телеизображению и управляющий движением макета. Камера имела возможность по команде водителя поворачиваться в горизонтальной плоскости, поэтому была возможна ситуация, когда в поле зрения камеры не попадал участок поверхности в направлении движения. Во избежание нежелательной ситуации водитель должен был постоянно совмещать поле зрения камеры со специальным «сектором обзора», который обозначался специальными белыми штангами, установленными на передней части шасси. Эти штанги четко ограничивали требуемый сектор поверхности в направлении движения [39, с. 39].

Собственно управление движением осуществлялось водителем с пульта управления, даже самый первый вариант которого позволял реализовать все возможности шасси по движению:

- движение вперед и назад с одной из выбранных постоянных скоростей;
- боковой поворот в движении в ту или другую сторону за счет изменения частоты вращения колес по левому и правому борту;
- бортовой поворот на месте в одну или другую сторону посредством вращения бортовых колес в разных направлениях (т.н. танковая схема);
- остановка шасси.

Быстро выяснилось, что расшифровка деталей поверхности на плоском экран-

ном изображении и последующее принятие необходимого решения о перемещении объекта требуют от оператора больших психофизиологических усилий и эмоционального напряжения. Пришлось привлечь специалистов из Института медико-биологических проблем (ИМБП) для отбора кандидатов на обучение профессии «водителя шасси». Отобранной группе сотрудников ВНИИТМ выпала ответственная задача разработки технологии дистанционного управления движением шасси и методики обучения будущих водителей-операторов лунохода. На институтском полигоне, постоянно дорабатываемом по результатам «заездов», были проложены тестовые трассы различной протяженности и сложности. Стало возможно отрабатывать технологию вождения шасси с использованием всех его возможностей по маневру.

При разработке технологии вождения и методики обучения выяснилось, что даже для простого маневра – прямолинейного движения по заданному курсу на двух возможных скоростях – необходимо точно определять реальные размеры возникающих препятствий, что, повторим, на плоском черно-белом экране было достаточно трудно. Решением здесь стала установка телекамеры на шасси таким образом, чтобы на экране были одновременно видны не только фрагменты поверхности, но и элементы передней части конструкции шасси, лучше всего колес. Впоследствии это было учтено конструкторами реального образца: на известных фотографиях лунохода четко видна часть телекамеры, передающей на Землю вид всех колес, и изображение аппарели для съезда с посадочной платформы. При такой установке камеры определить масштаб рельефа поверхности стало существенно проще.

Еще более облегчало процесс распознавания и ранжирования препятствий наложение на поле зрения телекамеры специальной опорной сетки. Такой масштабной сеткой были оснащены все мониторы, входившие в состав пультов управления, и уже первые испытатели методом проб и ошибок осваивали науку оп-

ределения масштаба фрагментов среды в направлении движения – учились определять расстояние до элементов рельефа и отстояние их друг от друга. Достоверность таких оценок во время обучения постоянно фиксировалась путем наблюдения одних и тех же участков поверхности на телеэкране и в реальности – монокулярно (одним глазом) и бинокулярно (двумя глазами), с определением средней величины ошибки. Как показала практика, даже при наличии масштабной сетки на экране монитора ошибки в определении масштаба рельефа у всех водителей были достаточно велики. Поэтому, чтобы овладеть дистанционным управлением, в методику подготовки были включены частые и длительные тренировки [39, с. 41; 42, с. 241–242].

В процессе отработки технологии управления выяснилось, что оптимальным является так называемый «старт-стопный» режим движения шасси. Это было неизбежно, поскольку разница между моментом посылы сигнала с Луны на Землю и появлением изображения дорожной ситуации на экране монитора составляла не менее 3,5–5 секунд. Добавим время на осмысление водителем увиденной картины и на принятие решения о подаваемой команде. В результате сигнал с Земли на Луноход еще больше запаздывает, и в течение некоторого времени движение осуществляется как бы «вслепую», что может привести к аварии.

Алгоритм старт-стопного режима вождения предусматривал повторяющийся цикл останова шасси с оценкой дорожной ситуации по экрану монитора. Иначе говоря, оценка дорожной ситуации и определение дальнейших действий и направления движения осуществляется, пока аппарат неподвижен. Все необходимые сигналы поступают на БАШ, затем следуют команды на продолжение движения в течение заданного временного интервала. Далее – снова остановка и повторение процедуры управления. Такой режим управления движением обуславливал покадровую подачу информации о дорожной ситуации.

Главный конструктор систем радио-

управления и космической связи М.С. Рязанский предложил для управления луноходом малокадровую телевизионную систему, которая передавала изображение с фиксацией по времени от 3 до 20 секунд. При этом дорожная ситуация в направлении движения представлялась водителю в покадровом варианте с дискретностью, устанавливаемой им самим.

В результате в технологию управления шасси прочно вошел старт-стопный режим движения, позволяющий отслеживать и реализовывать самые сложные трассы перемещения аппарата.

По итогам этого предварительного этапа дорожных испытаний выяснилось, что все отобранные участники (которым предстояло стать водителями-наставниками) справились с поставленной задачей, что позволило сформировать методику обучения будущих водителей луноходов. Удалось определить и разумное количество интервалов движения в старт-стопном режиме. В результате обработку приемов и технологии дистанционного управления завершали на закрытом полигоне института, используя уже восьмиколесный макет и новый пульт управления, близкие по конструкции к окончательному варианту.

Обобщив свой, уже достаточно богатый опыт, водители-наставники пришли к очень важному выводу: дистанционное управление движением шасси должен осуществлять не одиночный водитель, а экипаж, состав которого следовало определить с учетом задач, стоящих перед луноходом и как транспортным средством, и как научной лабораторией.

В итоге все материалы, накопленные водителями ВНИИТМ во время тренировок, стали основой для создания программы и формирования состава экипажа, а также итоговых методик тренировки экипажа для управления луноходом. Разработка этих документов выполнялась уже с участием представителей всех смежников, участвовавших в работах по Луноходу, а также ученых из НПОЛ и ИМБП [39, с. 42–43].

Как результат, был утвержден оптимальный состав экипажа количеством в пять человек: командир, водитель, штур-

ман, бортиженер и оператор остроуправленной антенны (ОНА), а разработанная программа наземных испытаний и тренировок будущих водителей луноходов была утверждена Главным конструктором Г.Н. Бабакиным. По его предложению экипаж лунохода был сформирован из числа военнослужащих-офицеров; кандидатов было больше сорока человек, после медицинского обследования в ИМБП осталось четырнадцать, а в итоге осталось одиннадцать (по сути, два экипажа) [11, с. 84–86].

Первоначальное обучение будущих операторов-водителей проходило во ВНИИТМ. Сначала их знакомили с материальной частью шасси, функционированием его узлов, а также особенностями взаимодействия с поверхностью – аналогом лунной. Происходило это на хорошо оборудованном закрытом полигоне с использованием натурального макета шасси и пульта управления с задержкой сигнала.

Последующие тренировки водителей проходили на специальном полигоне под Симферополем – на оборудованном там с учетом опыта ВНИИТМ «лунодроме». Объектом управления служил полномасштабный макет лунохода с настоящим шасси, оснащенный телевизионными системами, а само управление осуществлялось уже от штатных пультов, предусматривавших необходимую задержку сигнала.

Всех членов экипажа первоначально обучали основам оценки дорожной ситуации по картинке на экране монитора. Водителей тренировали особо, их обучали приемам дистанционного управления движением лунохода по заданной штурманом траектории. В результате тренировок водители приобрели навык дистанционного управления, учитывая задержки команд. У них появился опыт остановки шасси в заданной точке, поворота на заданный угол в движении и на месте, проезда между препятствиями.

Способность управлять аппаратом оценивалась не только правильно построенной траекторией объезда препятствий, но и способностью пройти заданное расстояние за минимальное время и с мини-

мальными отклонениями участков пройденного пути от кратчайшего расстояния между контрольными точками маршрута.

В итоге водители обрели устойчивые навыки вождения шасси в сложных рельефных условиях с минимальными затратами времени при безопасном движении. Позднее это было подтверждено результатами вождения реальных лунных аппаратов [11, с. 86–92; 39, с. 44–47]. Сам процесс подготовки и успешность применяемой методики обучения члены экипажей вспоминали с большой теплотой [27].

История последовавших натуральных испытаний лунного самоходного шасси на полигонах, в частности, на Камчатке, равно как и комплексных проверок всего аппарата в НПОЛ, частично нашедшая свое отражение в работах [2; 7; 9; 17; 39; 40; 42], требует уже более подробного, отдельного рассмотрения. Мы приведем почти без сокращений большую цитату из самого первого интервью А.Л. Кемурджиана, того самого, которое он дал буквально в день успешной посадки станции «Луна-17» и начала работы «Лунохода-1» [18]: «...В ходе испытаний мы стремились точнее воспроизвести те условия, в которых машине предстояло работать на Луне. Особенно сложно было с лунным тяготением. Ведь машина должна быть в шесть раз легче, чем на самом деле, а масса и момент инерции у нее должны остаться неизменными... Одну из серий подобных экспериментов мы поставили в летающей лаборатории. Была выбрана такая траектория движения самолета, при которой сила тяжести на его борту становится равной лунной. Оборудовали мы в салоне участок лунной поверхности, грунт подходящий насыпали, установили настоящее колесо лунохода, приборы для исследования свойств грунта в условиях лунной гравитации. Летающая лаборатория позволила нам получить очень интересные данные о взаимодействии колес с грунтом... Для отработки конструкции лунохода была использована целая гамма грунтов – все, что могло встретиться машине в ее путешествии по поверхности Луны. Характеристики грунтов уточнялись по мере накопления данных, которые

приносили полеты автоматических «Лун». Особенно полезными оказались сведения, которые принесло изучение грунта, привезенного «Луной-16». И, наконец, мы проводили испытания самоходного шасси на открытой местности, чтобы проверить не только проходимость машины по разным грунтам, но и посмотреть, как она ходит по сложному рельефу. Значит, понадобилась местность, которая по своей поверхности была бы похожа на Луну. Территория Советского Союза большая, и мы нашли такой участок, который был очень похож на предполагаемое место посадки станции...».

В августе 1968 г. все элементы ходовой части Лунохода, подчеркнем, летные образцы этих элементов, из ВНИИТМ был поставлены заказчику – НПОЛ. Очувствованное лунное шасси здесь было оснащено всем необходимым научным оборудованием и соответствующими блоками системы управления, и работы перешли в свою завершающую стадию.

Поэтому здесь мы ставим точку в рассказе о создании самоходного шасси Лунохода, добравшись до заранее установленной нами временной границы. Из приведенных нами фактов следует достаточно важный вывод: правильно поставленная задача, грамотно сформированный коллектив исполнителей и точное управление проектом позволили отечественным ученым и конструкторам в весьма короткий срок – менее 5 лет – практически с нуля создать абсолютно новую технологию дистанционного контактного исследования планет Солнечной системы с помощью космических роботизированных комплексов. Ту технологию, которая продолжает развиваться и сегодня и которая, пожалуй, пока является единственно возможной для получения фундаментальных сведений о строении Вселенной.

Автор выражает благодарность действительному члену Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского (РАКЦ), доктору технических наук, профессору Михаилу Ивановичу Маленкову и члену-корреспонденту РАКЦ Валерию Николаевичу Куприянову, чьи многочисленные публикации и выступления о «Лу-

ноходе-1» помогли ему в работе над данным материалом.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Анфимов Н.А., Губайдуллин В.Ш., Евич А.Ф.* К 40-летию доставки с Луны на Землю образцов грунта и начала работы мобильной лунной исследовательской лаборатории «Луноход-1» // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2010. № 4 (6). С. 22–26.

2. *Болховитинов И.С.* С планетоходом по планетам // За инженерные кадры. 2006. № 7 (сентябрь); 2006. № 8 (октябрь); 2006. № 9 (декабрь); 2007. № 1 (февраль).

3. *Болховитинов И.С. [и др.].* Динамика планетохода / под ред. Б.Н. Петрова, А.Л. Кемурджиана. М.: Наука, 1979. 438 с.

4. *Викторов С.В.* Советские луноходы – сорок лет спустя. Пласты памяти // ОНТК «Седьмые Уткинские чтения»: труды конференции. СПб.: БГТУ «Военмех», 2016. С. 300–307.

5. *Викторов С.В.* Создание спектрометров РИФМА и РИФМА-М для «Лунохода-1 и 2» // Особенности развития космической отрасли России и перспективы ее дальнейшей интеграции в систему международных экономических связей: тезисы докладов Международной научно-практической конференции. СПб., 2007. С. 16–18.

6. *Викторов С.В., Чесноков В.И.* Химия лунного грунта. М.: Знание, 1978. 64 с.

7. ВНИИТМ – исследованию космоса / гл. ред. Э.К. Потемкин. СПб.: ВНИИТМ, 2003. 113 с.

8. *Громов В.В. [и др.].* Передвижение по грунтам Луны и планет / под ред. А.Л. Кемурджиана. М.: Машиностроение, 1986. 268 с.

9. *Довгань В.Г.* Лунная одиссея отечественной космонавтики. От «Мечты» к луноходам. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2015. 306 с.

10. *Довгань В.Г.* Питерский след на Луне // Планетоходы, космическая робототехника и наземные роверы для экстремальных условий: материалы первого, второго и третьего семинаров / под ред. д.т.н. М.И. Маленкова. СПб.: Изд-во По-

литехнического университета, 2006. С. 29–34.

11. *Довгань В.Г.* Страницы истории управления луноходом. К 50-летию создания экипажа лунохода // Труды Секции истории космонавтики и ракетной техники. Выпуск четвертый / под ред. В.А. Куприянова, М.Н. Охочинского. СПб.: БГТУ «Военмех», 2019. С. 84–107.

12. *Довгань В.Г.* Экипаж лунохода // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2010. № 4 (6). С. 53–61.

13. *Кемурджиан А.Л.* От лунохода до марсохода // Полет. 1999. № 5. С. 52–57.

14. *Кемурджиан А.Л.* [и др.]. Планетоходы / под ред. А.Л. Кемурджиана. М.: Машиностроение, 1982. 319 с.

15. *Кемурджиан А.Л.* [и др.]. Планетоходы / под ред. А.Л. Кемурджиана. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1993. 397 с.

16. *Кемурджиан А.Л., Громов В.В., Черкасов И.И., Шварев В.В.* Автоматические станции для изучения поверхностного покрова Луны. М.: Машиностроение, 1976. 199 с.

17. *Кемурджиан А.Л., Хаханов Ю.А.* Создание средств имитации силы тяжести // Из истории авиации и космонавтики. Вып. 1. СПб.: Частный военно-исторический архив, 2001. С. 74–83.

18. *Колтовой Б.* Космическая колесница: беседа с руководителем работ по созданию самоходного шасси «Лунохода-1» // Известия. 1970. 18 ноября (Московский вечерний выпуск).

19. *Королев С.П.* Предложения по исследованию и освоению Луны в 1963–1968 гг. (утвержден 23 сентября 1963 года) // С.П. Королев и его дело. Свет и тени в истории космонавтики. Избранные труды и документы. М.: Наука, 1998. С. 420–426.

20. Космические адреса Санкт-Петербурга. Северная столица в истории космонавтики и ракетной техники / под общ. ред. М.Н. Охочинского. СПб.: БГТУ «Военмех», 2018. 720 с. Гл. «Главный конструктор самоходных шасси планетоходов. Жизнь и судьба Александра Леонтовича Кемурджиана» (В.Н. Куприянов, с. 307–332) и «ВНИИ Трансмаш: создание лун-

ного самоходного шасси» (В.А. Веселов, П.С. Сологуб, С.В. Федосеев, с. 449–514).

21. *Кузнецов В.Е.* Неудача и успех. О запуске первого советского Лунохода // Природа. 2004. № 6 (1066). С. 94–96.

22. *Куприянов В.Н.* Главный конструктор самоходного шасси «Луноходов» Александр Леонович Кемурджиан // Актуальные вопросы ракетостроения. Вып. 4. СПб.: БГТУ «Военмех», 2007. С. 194–199.

23. *Куприянов В.Н.* Как появился торсион без центрального стержня в шасси Лунохода // Пятые Уткинские чтения: материалы Международной научно-технической конференции. СПб.: БГТУ «Военмех», 2011. С. 385–389.

24. *Куприянов В.Н.* Как создавали самоходное шасси «Луноходов» // Актуальные вопросы ракетостроения. Вып. 4. СПб.: БГТУ «Военмех», 2007. С. 183–193.

25. *Куприянов В.Н.* Об истории появления первых открытых публикаций специалистов ВНИИТрансмаш по космической тематике // Особенности развития космической отрасли России и перспективы ее дальнейшей интеграции в систему международных экономических связей: материалы Международной научно-практической конференции. СПб.: 2007. С. 156–159.

26. *Куприянов В.Н., Маленков М.И.* Роль предприятий и вузов Ленинграда в создании и обеспечении успешной эксплуатации Лунохода-1 на Луне // Особенности развития космической отрасли России и перспективы ее дальнейшей интеграции в систему международных экономических связей: материалы Международной научно-практической конференции. СПб.: 2007. С. 154–156.

27. *Кутузова Г.* Знакомьтесь: экипаж Лунохода! // Социалистическая индустрия. 1970. 9 декабря.

28. *Маленков М.И.* А.Л. Кемурджиан – основоположник отечественной школы проектирования и отработки систем передвижения планетоходов // Особенности развития космической отрасли России и перспективы ее дальнейшей интеграции в систему международных экономических связей: материалы Международной науч-

- но-практической конференции. СПб., 2007. С. 45–49.
29. *Маленков М.И.* Деятельность А.Л. Кемурджиана по созданию отечественной школы проектирования и отработки систем передвижения // Планетоходы, космическая робототехника и наземные роверы для экстремальных условий: материалы первого, второго и третьего семинаров / под ред. д.т.н. М.И. Маленкова. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2006. С. 15–23.
30. *Маленков М.И.* Создание «Лунохода-1» – выдающееся научно-техническое достижение XX века // Вестник НПО им. С. А. Лавочкина. 2011. № 1. С. 13–21.
31. *Маленков М.И.* Творческий вклад выпускников Санкт-Петербургского государственного политехнического университета в создании самоходного шасси «Лунохода-1» и его эксплуатацию на Луне // История Санкт-Петербургского политехнического университета в контексте истории отечественной и мировой науки и образования: материалы Международной научно-технической конференции. СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2009. С. 272–296.
32. *Маленков М.И.* Штрихи творческого портрета А.Л. Кемурджиана. К 80-летию со дня рождения // Полет. Общероссийский научно-технический журнал. 2002. № 1. С. 44–49.
33. *Маленков М.И., Криулин Ю.С., Курьянов В.Н.* Об истории создания устройства разблокировки мотор-колес «Лунохода-1» и «Лунохода-2» // XIII Международный симпозиум по истории авиации и космонавтики, посвященный сорокалетию первого полета человека в космическое пространство: тезисы докладов. М.: ИИЕТ РАН, 2001. С. 130–132.
34. *Маров М.Я., Хантресс У.Т.* Советские роботы в Солнечной системе. Технологии и открытия. 2-е изд., испр. и доп. М.: Физматлит, 2017. 612 с.
35. Передвижная лаборатория на Луне «Луноход-1» / отв. ред. акад. А.П. Виноградов. М.: Наука, 1971. 128 с.
36. Передвижная лаборатория на Луне «Луноход-1». Т. 2 / отв. ред. член-корр. АН СССР В.Л. Барсуков. М.: Наука, 1978. 183 с.
37. *Поляков Л.Н.* О системе управления и практике дистанционного вождения «Лунохода-1» // Планетоходы, космическая робототехника и наземные роверы для экстремальных условий: материалы первого, второго и третьего семинаров / под ред. д.т.н. М.И. Маленкова. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2006. С. 280–285.
38. Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королёва. М.: РКК «Энергия», 1996.
39. *Сологуб П.С., Веселов А.В., Мицкевич А.В. [и др.]*. Космические роботизированные комплексы. Ленинградская – Санкт-Петербургская научно-конструкторская школа / под ред. В.А. Веселова. СПб.: БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова, 2016. 200 с.
40. *Сологуб П.С., Ивановский О.Г.* Создание ходовой части первого в мире планетохода «Луноход-1» // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2010. № 4 (6). С. 43–52.
41. *Хаханов Ю.А.* Неиспользованные возможности аппаратуры самоходного шасси Лунохода-1 при его натурной эксплуатации на лунной поверхности (пионерскому проекту – 45 лет) // Седьмые Уткинские чтения: труды материалы Международной научно-технической конференции. СПб.: БГТУ «Военмех», 2016. С. 372–380.
42. *Хаханов Ю.А.* Некоторые вопросы истории создания системы безопасности движения самоходного шасси «Лунохода-1» // Четвертые Уткинские чтения: материалы Международной научно-технической конференции. Т. 2. СПб.: БГТУ «Военмех», 2009. С. 239–244.
43. *Хаханов Ю.А.* Об истории разработки методики прогноза проходимости самоходного шасси «Лунохода-1» при натурной эксплуатации (памяти В.В. Громова) // Четвертые Уткинские чтения: материалы Международной научно-технической конференции. Т. 2. СПб.: БГТУ «Военмех», 2009. С. 235–238.