

# PROTECTIVE DOME OF THE MANNED STATION ON THE MOON'S SURFACE

# ЗАЩИТНЫЙ КУПОЛ ОБИТАЕМОЙ СТАНЦИИ НА ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ



**Alexander M. PYZHOV**,  
Cand. Sci. (Tech), Associate Professor, Chemistry and  
Technology of Organic Nitrogen Compounds, Samara  
State Technical University, Samara, Russia,  
[argel33@mail.ru](mailto:argel33@mail.ru)



**Александр Михайлович ПЫЖОВ**,  
кандидат технических наук, доцент кафедры ХТОСА  
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический  
университет», Самара, Россия,  
[argel33@mail.ru](mailto:argel33@mail.ru)

**Dmitry A. SINITSYN**,  
Head of Laboratory, Chemistry and Technology of  
Organic Nitrogen Compounds, Samara State Technical  
University, Samara, Russia,  
[polycarp@mail.ru](mailto:polycarp@mail.ru)



**Дмитрий Андреевич СИНИЦЫН**,  
заведующий лабораторией кафедры ХТОСА ФГБОУ ВО  
«Самарский государственный технический университет»,  
Самара, Россия,  
[polycarp@mail.ru](mailto:polycarp@mail.ru)

**Илья V. YANOV**,  
9th Grade Student, School No. 64,  
Samara, Russia,  
[kotopes.03@mail.ru](mailto:kotopes.03@mail.ru)



**Илья Владимирович ЯНОВ**,  
ученик 9 класса МБОУ «Школа № 64 имени Героя Российской  
Федерации В. В. Талабаева» г. о. Самара, Россия,  
[kotopes.03@mail.ru](mailto:kotopes.03@mail.ru)

**Natalia V. LUKASHOVA**,  
Physics Teacher, School No. 64,  
Samara, Russia,  
[seleviz1@mail.ru](mailto:seleviz1@mail.ru)



**Наталья Викторовна ЛУКАШОВА**,  
учитель физики МБОУ «Школа № 64 имени Героя  
Российской Федерации В. В. Талабаева» г. о. Самара, Россия,  
[seleviz1@mail.ru](mailto:seleviz1@mail.ru)

**Alexander V. BAGROV**,  
Dr. Sci. (Physics and Mathematics), Leading Research-  
er, Institute of Astronomy of the Russian Academy of  
Sciences, Moscow, Russia,  
[abagrov@inasan.ru](mailto:abagrov@inasan.ru)



**Александр Викторович БАГРОВ**,  
доктор физико-математических наук, ведущий научный  
сотрудник ФГБУН Институт астрономии РАН,  
Москва, Россия,  
[abagrov@inasan.ru](mailto:abagrov@inasan.ru)

**Vladislav A. LEONOV**,  
Cand. Sci. (Physics and Mathematics), Researcher,  
Institute of Astronomy of the Russian Academy of  
Sciences, Moscow, Russia,  
[leonov@inasan.ru](mailto:leonov@inasan.ru)



**Владислав Александрович ЛЕОНОВ**,  
кандидат физико-математических наук, научный  
сотрудник ФГБУН Институт астрономии РАН,  
Москва, Россия,  
[leonov@inasan.ru](mailto:leonov@inasan.ru)

**ABSTRACT** | The process of large-scale research and exploration of the Moon begins with the construction of fast-built stations on its surface, which allow the first inhabitants to organize and conduct preparatory activities for setting up a permanent manned lunar base.

For the first time a conical block-structured dome construction as a protective building element for a lunar manned station is proposed, as well as a method for the erection of a dome by means of pneumatic shuttering in a pit or a natural depression of the Moon's surface. The use of lunar regolith as a material and the microwave sintering of regolith as a method of building blocks manufacture are suggested.

**Keywords:** *Colonization of the Moon, lunar manned station, protective conical dome, regolith, microwave oven sintering*

**АННОТАЦИЯ** | Процесс масштабного исследования и освоения Луны начнется с создания на ее поверхности быстровозводимых станций, которые позволят первым ее обитателям организовать и провести подготовительные мероприятия для создания постоянной обитаемой базы на Луне.

Впервые в качестве защитного строительного элемента лунной обитаемой станции предложена коническая блочная купольная конструкция и способ ее возведения с помощью пневматической опалубки в естественном углублении поверхности Луны. В качестве строительного материала для изготовления блоков предлагается использовать лунный реголит, а в качестве способа их изготовления спекание реголита в СВЧ-печи.

**Ключевые слова:** *колонизация Луны, лунная обитаемая станция, защитный конический купол, реголит, спекание в СВЧ-печи*

## ВВЕДЕНИЕ

Масштабное исследование и освоение труднодоступных территорий нашей планеты, как показал земной опыт, начиналось с возведения постоянно действующих обитаемых станций, баз, поселков и городов и зачастую прекращалось после их закрытия. Так, например, была освоена Антарктида. В 1955 году для организации исследований в Антарктиде в СССР была создана Комплексная антарктическая экспедиция АН СССР, а уже в период подготовки к Международному геофизическому году (1956 – 1959 гг.) на ее побережье и в материковых районах были построены и действовали девять советских и более 30 зарубежных обитаемых станций. В то время южный материк по степени своей неизведанности и недоступности был схож с Луной. Известный американский исследователь Антарктиды Р. Берд по этому поводу сказал тогда, что люди знают об Антарктиде меньше, чем о видимой стороне Луны [1].

Подобный сценарий освоения отдаленных территорий не минует и Луну. Это подтверждается декларациями ведущих мировых космических держав, таких как США, Россия, Франция, Китай, Индия и Южная Корея, имеющих собственные космические программы. Так, например, в России согласно второму этапу федеральной космической программы на 2016 – 2025 годы, утвержденной Постановлением Правительства РФ от 23 марта 2016 года № 230, планомерное исследование и освоение Луны начнется с создания лунных космических аппаратов и доставки образцов лунного грунта на Землю.

В 2006 году ведущее российское ракетно-космическое предприятие РКК «Энергия» имени С.П. Королева разработало концепцию программы развития российской пилотируемой космонавтики, согласно которой уже до 2030 года должно быть заложено строительство лунной обитаемой базы [2].

В связи с особой актуальностью процесса освоения Луны авторы проекта на протяжении последних лет ведут активные исследования, посвященные разработке конструкции и способа строительства быстро-возводимой обитаемой станции на поверхности Луны.

## ЛУННЫЕ ОБИТАЕМЫЕ СТАНЦИИ И БАЗЫ

Первые проекты лунных станций и баз стали появляться уже в середине 40-х годов прошлого столетия [3]. Они рассматривали различные варианты лунных жилищ: искусственные сооружения, естественные полости, использование защитных свойств лунного вещества, создание замкнутых систем жизнеобеспечения и т. д. В настоящее время считается наиболее целесообразным начать процесс освоения Луны с создания небольшой временной станции, без которой невозможно будет организовать и провести подготовительные мероприятия для создания уже постоянной обитаемой базы. Этот этап строительства обитаемой лунной базы называется нулевым [4]. По другой концепции, основные помещения постоянных обитаемых баз-колоний предполагается возводить в «базальтовых недрах» Луны [5]. Для этого на Луну будет доставляться специальное горнопроходческое оборудование для прокладки туннелей и создания обширных помещений глубоко под поверхностью

Луны, а извлеченный грунт посредством солнечных 3D-принтеров будет переплавляться в надстраиваемые сооружения на поверхности Луны. Однако даже такие масштабные проекты также не обойдутся без предварительного возведения временных обитаемых станций, изготовление которых будет значительно проще и дешевле [4]. Несмотря на простоту конструкций первых лунных станций, они должны надежно защищать первых колонистов от опасностей Луны, основными из которых являются вакуум, большие суточные перепады температур, космические лучи и метеоритная бомбардировка [6].

## ЗАЩИТНЫЙ КУПОЛ СТАНЦИИ

Проведенные нами расчеты [7] показали, что на Луне для защиты от космического излучения, перепадов температур и высокоскоростных ударов метеоритов массой до 350 граммов достаточно использовать слой лунного грунта реголита [8] толщиной не менее четырех метров.

Эти расчеты позволили четко сформулировать цель исследований разработать конструкцию строительного элемента станции, способного не только выдержать массу слоя реголита данной толщины, но и иметь достаточно простой способ для его возведения, позволяющий в дальнейшем полностью его роботизировать. Подобные строительные конструкции могут быть использованы в качестве защитных элементов для командно-жилых, складских и научно-исследовательских модулей, составляющих инфраструктуру временных лунных баз [4].

**ПНЕВМАТИЧЕСКАЯ ОПАЛУБКА НЕ ТРЕБУЕТ БОЛЬШИХ ЗАТРАТ НА ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ, МОНТАЖ И ЭКСПЛУАТАЦИЮ И ПОЗВОЛИТ УПРОСТИТЬ ПРОЦЕСС ВОЗВЕДЕНИЯ КУПОЛА**

В качестве силового строительного элемента обитаемой станции было предложено использовать купольную конструкцию как одну из самых рациональных и выгодных форм пространственных строительных конструкций [9]. Сам купол для такой конструкции возводится из отдельных блоков, которые, в свою очередь, предполагается изготавливать из поверхностного лунного грунта – реголита. Для большей эффективности и простоты процесса возведения купола можно использовать надувную (пневматическую) опалубку, применение которой в настоящее время считается наиболее предпочтительным способом сооружения купольных конструкций, в том числе и монолитных бетонных [10]. Пневматическая опалубка не требует больших затрат на транспортирование, монтаж и эксплуатацию.

Проведенные вычисления подтвердили правильность выбора, однако традиционную сферическую форму купола пришлось заменить сначала на стрельчатую, а впоследствии на коническую [7]. Для скрепления блоков в коническом куполе их необходимо снабдить специальными коническими выступами. Такие выступы могут не только препятствовать перемещению блоков относительно друг друга в горизонтальной плоскости, но и в случае необходимости (при сейсмических воздействиях) ограничивать степень этого перемещения.

Изготовление строительных блоков в условиях Луны более эффективно проводить спеканием предварительно отформованного реголита в СВЧ-печах. Способы изготовления строительных изделий на Луне достаточно подробно изложены в работе, посвященной анализу методов строительства конструкций лунных станций [11]. Среди описанных заслуживает внимания метод создания конструкций мобильным 3D-принтером, в котором применяется расплав лунного грунта, дозируемый в зону плавления солнечным теплом или микроволновым излучением. Однако для этого способа более целесообразным является использование измельченного базальта, который в больших количествах будет образовываться при прокладке тоннелей в коренной породе Луны.

Для оценки возможности изготовления блочных изделий из реголита был проведен ряд экспериментов по спеканию керамических образцов из базальтового имитатора лунного грунта в микроволновой и муфельной печах [12]. Для имитации лунного грунта использовался образец земного базальта Южно-Уральского месторождения. За основу фракционного состава имитатора был взят имитационный состав ЛГА-3, характеристики которого приведены в статье [13]. Наибольший предел прочности образцов из спеченного базальтового имитатора при сжатии составил 130 МПа, а их плотность — 2,5 г/см<sup>3</sup>, что подтверждает высокую эффективность спекания блоков в микроволновой печи.

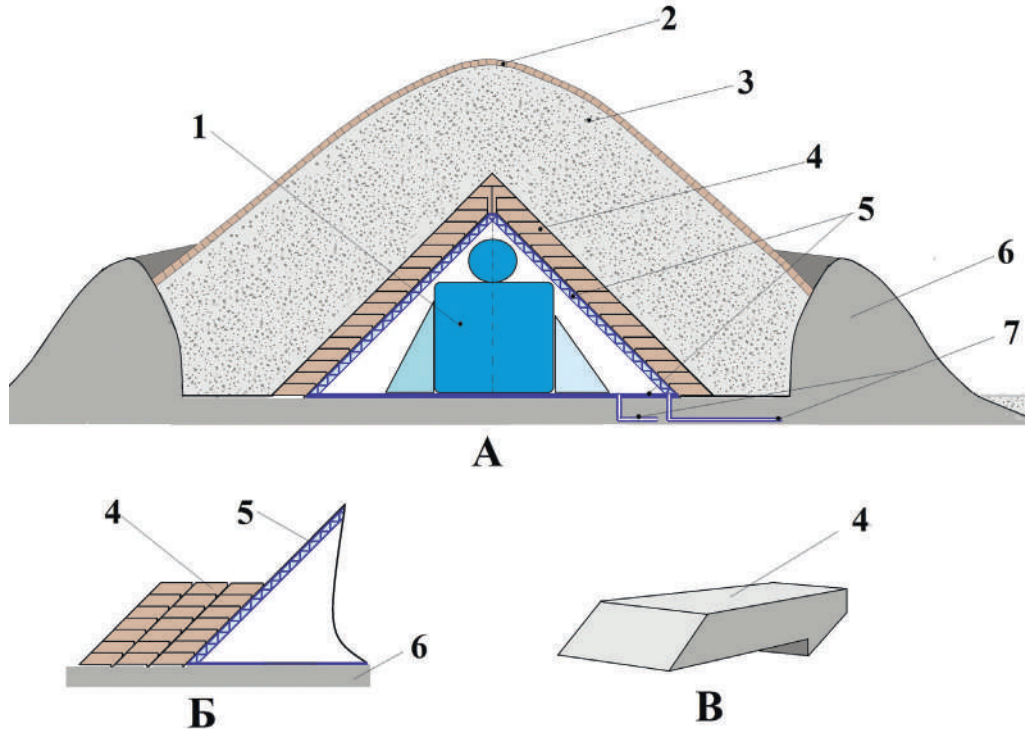
**ПРИ ОЦЕНКЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ РЕГОЛИТА ДЛЯ ЕГО ИМИТАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАЛСЯ ОБРАЗЕЦ ЗЕМНОГО БАЗАЛЬТА ЮЖНО-УРАЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ. НАИБОЛЬШИЙ ПРЕДЕЛ ПРОЧНОСТИ ОБРАЗЦОВ ИЗ СПЕЧЕННОГО БАЗАЛЬТА ПРИ СЖАТИИ И ИХ ПЛОТНОСТЬ, ВЫЯВЛЕННЫЕ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЕРИМЕНТА, ПОДТВЕРДИЛИ ВЫСОКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СПЕКАНИЯ БЛОКОВ В МИКРОВОЛНОВОЙ ПЕЧИ**

С целью дальнейшей автоматизации процессов изготовления реголитовых блоков и защитного купола нами была разработана компьютерная программа на основе платформы Bootstrap, которая позволяет рассчитывать потребность блоков различной номенклатуры в зависимости от габаритов. Такой программой в дальнейшем могут оснащаться лунные строительные роботы.

## **ПРОТИВОМЕТЕОРИТНАЯ ЗАЩИТА КУПОЛА**

Несмотря на то, что вероятность падения крупных метеоритов массой более 30 граммов невелика, была проведена расчетная оценка максимальной защитной способности противорадиационного слоя реголита толщиной четыре метра к ударам метеоритов. Как показали расчеты, в большей степени опасность представляет не прямое внедрение метеорита в защитный слой лунного грунта за счет его кинетической энергии в этом случае метеорит внедряется на глубину, приблизительно равную его диаметру [14], — а ударная (сейсмическая) волна, которая распространяется на значительно большую глубину глубину трещинообразования, приводя к разрушению строительных конструкций базы. С учетом этих обстоятельств противометеоритная и противорадиационная защита строительной конструкции станции должна состоять из верхнего слоя спеченных блоков, защищающих купольную конструкцию от проникновения метеоритов в противорадиационный слой насыпного реголита. Толщина этого слоя, в свою очередь, должна быть равна или несколько больше глубины распространения волны напряжения (трещинообразования). Стоит отметить, что толщина купола, а значит, и его прочность могут регулироваться количеством блоков в кладке.

**Рис. 1.** Схемы устройства и расположения купольной конструкции в кратере или в углублении на поверхности Луны (А), укладки блоков при возведении конического купола в три блока (Б), форма блока конического купола (В), где цифрами указаны следующие конструктивные элементы: 1 – жилой модуль; 2 – слой реголитовых блоков на защитном слое из реголита; 3 – защитный слой реголита; 4 – реголитовые блоки конического купола; 5 – надувная опалубка; 6 – лунный кратер; 7 – трубы для надувания пневмоопалубки.



На рис. 1 приведены схема расположения купольной конструкции на поверхности Луны и пример укладки блоков при возведении конического купола в три блока, а также форма блока конического купола.

## ЭТАПЫ СТРОИТЕЛЬСТВА

Предложенный нами способ возведения защитного купола временной обитаемой станции состоит из следующих этапов:

1. В подходящем углублении поверхности Луны надувается пневмоопалубка защитного купола и укладываются шлюзовая камера, которые затем выкладываются снаружи предварительно изготовленными блоками из реголита.

2. Далее на сформированную из спеченных реголитовых блоков коническую оболочку купола наносится четырехметровый слой противорадиационной защиты из лунного грунта, на который сверху для защиты от прямого попадания метеоритов укладывается еще один слой блоков с упором в стенки углубления.

3. В случае если помещения купола предназначены для проживания космонавтов, внутри опалубки устанавливается герметичный надувной или иной жилой модуль, который дополняется необходимым оборудованием для их жизнеобеспечения.

При необходимости рядом с возведенным защитным куполом можно установить еще несколько защитных куполов, связанных между собой защищенными тоннелями, которые не повлияют на прочность основных конструкций. Если в качестве жилых модулей применяют оболочки или различные части космических аппаратов, то в этом случае в углубление на грунте предварительно устанавливается оболочка аппарата, а затем поверх нее устанавливается пневмоопалубка.

Все описанные работы могут делать автоматизированные роботы заблаговременно, до высадки космонавтов на Луну. На возведение лунной базы с одним защитным куполом, способным принять первые экипажи, потребуется около одного земного года.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований была разработана конструкция силового защитного элемента быстровозводимой обитаемой станции, сооружаемого в углублении на поверхности Луны из отдельных реголитовых блоков с помощью пневматической опалубки.

Описанные защитные купольные конструкции могут быть возведены на поверхности Луны в качестве промежуточных станций, используемых для временного проживания и хранения запасов еды, кислорода и т.п. во время длительных экспедиций. Подобной защитой должны быть оборудованы любые строительные конструкции жилых сооружений на поверхности Луны на начальном этапе ее освоения.

### Литература

1. Грушинский Н.П., Дралкин А.Г. Антарктида. М.: Недра, 1988. 199 с.
2. РКК «Энергия»: концепция развития российской пилотируемой российской пилотируемой космонавтики // Новости космонавтики. 2006. Т. 16. № 7 (282). С. 613.
3. Шевченко В.В. Лунная база. М.: Знание, 1991. 64 с.
4. Луна шаг к технологиям освоения Солнечной системы / под научной редакцией Легостаева В.П. и Лопоты В.А. М.: РКК «Энергия», 2011. 584 с.
5. Багров А.В., Леонов В.А., Павлов А.В. Земля: «колыбель человечества» или одинокий обитаемый остров? // Знание - сила. 2017. № 10. С.18 – 25.
6. Базилевский А.Т. Лунная база, полярная вода и опасность лунотрясений // Природа. 2017. № 11. С. 67 – 72.
7. Пыжов А.М., Сеницын Д.А., Янов И.В., Лукашова Н.В., Леонов В.А., Багров А.В. Возведение защитного купола обитаемой станции на поверхности Луны // Материалы 53-х Научных чтений памяти К.Э.Циолковского «Идеи К.Э.Циолковского в контексте современного развития науки и техники». Калуга: АКФ «Политоп», 2018. С. 315 – 317.
8. Игнатова А.М., Игнатов М.Н. Использование ресурсов реголита для освоения лунной поверхности // Геолого-минералогические науки. 2013. № 11. С. 101–110.
9. Цай Т.Н. Строительные конструкции. Железобетонные конструкции. СПб.: Лань, 2012. 464 с.
10. Лебедева Н.В. Фермы, арки, тонкостенные пространственные конструкции. М.: Архитектура-С, 2006. 120 с.
11. Багров А.В., Нестерин И.М., Пичхадзе К.М., Сысоев В.К., Сысоев А.К., Юдин А.Д. Анализ методов строительства конструкций лунных станций // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2014. № 4. С. 75–80.
12. Пыжов А.М., Янов И.В., Лукашова Н.В., Широков И.Э., Луконин А.А. Возведение и защита обитаемой станции на поверхности Луны // Бултеровские сообщения. 2018. Т. 53. № 3. С. 112–119.
13. Королёв В.А. Моделирование гранулометрического состава лунных грунтов // Инженерная геология. 2016. № 5. С. 40–50.
14. Шишкин Н.И. Влияние импульса метеорита на размеры ударного кратера // Прикладная механика и техническая физика. 2011. Т. 52. № 63. С. 3 –12.

### References

1. Grushinskiy N.P., Dralkin A.G. Antarktida. Moscow: Nedra, 1988, 199 p.
2. RKK «Energija»: kontseptsiya razvitiya rossiyskoy pilotiruemyy rossiyskoy pilotiruemyy kosmonavtiki. Novosti kosmonavtiki, 2006, vol. 16, no. 7, pp. 613.
3. Shevchenko V.V. Lunnaya baza. Moscow: Znanie, 1991, 64 p.
4. Luna shag k tekhnologiyam osvoeniya Solnechnoy sistemy. Eds. Legostaev V.P., Lopota V.A. Moscow: RKK «Energija», 2011, 584 p.
5. Bagrov A.V., Leonov V.A., Pavlov A.V. Zemlya: "kolybel' chelovechestva" ili odinokiy obitaemyy ostrov? Znanie – sila, 2017, no. 10, pp.18 – 25.
6. Bazilevskiy A.T. Lunnaya baza, polyarnaya voda i opasnost' lunotryaseniy. Priroda, 2017, no. 11, pp. 67 – 72.
7. Pyzhov A.M., Sinitsyn D.A., Yanov I.V., Lukashova N.V., Leonov V.A., Bagrov A.V. Vozvedenie zashchitnogo kupola obitaemyy stantsii na poverkhnosti Luny. Materialy 53-kh Nauchnykh chteniy pamyati K.E.Tsiolkovskogo «Idei K.E.Tsiolkovskogo v kontekste sovremennogo razvitiya nauki i tekhniki». Kaluga: AKF "Politop", 2018, pp. 315 – 317.
8. Ignatova A.M., Ignatov M.N. Ispol'zovanie resursov regolita dlya osvoeniya lunnyy poverkhnosti. Geologo-mineralogicheskie nauki, 2013, no. 11, pp. 101–110.
9. Tsay T.N. Stroitel'nye konstruksii. Zhelezobetonnye konstruksii. Saint Petersburg: Lan', 2012, 464 p.
10. Lebedeva N.V. Fermy, arki, tonkostennyye prostranstvennyye konstruksii. Moscow: Arkhitektura-S, 2006, 120 p.
11. Bagrov A.V., Nesterin I.M., Pichhadze K.M., Sysoev V.K., Sysoev A.K., Yudin A.D. Analiz metodov stroitel'stva konstruksiy lunnykh stantsiy. Vestnik NPO im. S. A. Lavochkina, 2014, no. 4, pp. 75–80.
12. Pyzhov A.M., Yanov I.V., Lukashova N.V., Shirokov I.E., Lukonin A.A. Vozvedenie i zashchita obitaemyy stantsii na poverkhnosti Luny. Butlerovskie soobshcheniya, 2018, vol. 53, no. 3, pp. 112–119.
13. Korolev V.A. Modelirovaniye granulometricheskogo sostava lunnykh gruntov. Inzhenernaya geologiya, 2016, no. 5, pp. 40–50.
14. Shishkin N.I. Vliyaniye impul'sa meteorita na razmery udarnogo krat- era. Prikladnaya mekhanika i tekhnicheskaya fizika, 2011, vol. 52, no. 63, pp. 3 – 12.

© Пыжов А.М., Сеницын Д.А., Янов И.В., Лукашова Н.В., Багров А.В., Леонов В.А., 2019

### История статьи:

Поступила в редакцию: 21.07.2019

Принята к публикации: 07.08.2019

Модератор: Гесс Л.А.

Конфликт интересов: отсутствует

### Для цитирования:

Пыжов А.М., Сеницын Д.А., Янов И.В., Лукашова Н.В., Багров А.В., Леонов В.А. Защитный купол обитаемой станции на поверхности Луны // Воздушно-космическая сфера. 2019. №3. С. 44–49.

