

УДК 629.7.047.8

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СОЗДАНИЯ ГЕРМЕТИЧНОГО СКАФАНДРА

А.Р.Петрова, Р.В.Петров*

ANALYSIS OF PROMISING TECHNOLOGIES FOR CREATING A HERMETIC SPACESUIT

A.R.Petrova, R.V.Petrov*

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), a.r.petrova@yandex.ru
**Институт электронных и информационных систем НовГУ, Roman.Petrov@novsu.ru*

Анализируются перспективные технологии создания герметичного скафандра для эксплуатации в космическом пространстве. Проводится анализ факторов, действующих на скафандр в космических условиях. Рассматриваются влияние невесомости на организм человека, последствия пребывания в космосе, риски воздействия космической радиации. Приводятся сведения о методе расчёта доз, полученных при межпланетном перелёте. Дается краткое описание используемого в России скафандра, его характеристик. Предлагаются варианты улучшения структуры скафандра. Делается вывод, что перспективными технологиями создания герметичного скафандра могут являться технологии развития механических оболочек скафандра, с учётом всех экстремальных факторов, действующих на организм человека.

Ключевые слова: скафандр, космос, космическое излучение, радиочувствительность, системы жизнеобеспечения скафандра

This paper is devoted to the analysis of promising technologies for creating a hermetic spacesuit for operation in outer space. The analysis of factors acting on the spacesuit in space conditions is carried out. The effects of weightlessness on the human body, the consequences of being in space, and the risks of exposure to cosmic radiation is considered. The information about the method for calculating radiation doses received during interplanetary flights is given. A brief description of the spacesuit used in Russia is presented and its characteristics are given. Some ways of improving the structure of the spacesuit are offered. Taking into account all extreme factors acting on the human body, promising technologies of designing a hermetic spacesuit can be the ones improving the spacesuit's protective cover.

Keywords: spacesuit, space, cosmic radiation, radiosensitivity, life support systems of a spacesuit

Введение

12 апреля 1961 г. Юрий Гагарин открыл эру освоения космоса человеком. С этого момента начались постоянные полеты в открытый космос, благодаря которым было проведено множество исследований и сделано невероятное количество открытий. В скором будущем космические корабли будут бороздить просторы вселенной, в связи с этим стоит задуматься о космическом туризме и самым ближайшем и удобным будет освоение и полет на Луну. У специалистов по космонавтике тем не менее возникает множество вопросов к применяемым скафандрам. Ни для кого не секрет, что для того, чтобы полететь в космос человек должен быть здоровым и натренированным. Космонавты проходят серьезную физическую подготовку, но не каждый человек способен выдержать такую нагрузку. При этом потребность в космическом туризме остается. Тогда почему бы не сделать скафандр, который позволит обычному человеку, не имеющему столь серьезную подготовку, отправиться, допустим, на Луну? Скафандр, который будет намного легче существующих, будет иметь хорошую подвижность в сочленениях, не будет настолько дорогим и громоздким, позволит человеку выходить в открытый космос на более долгое время, в случае разгерметизации сможет поддерживать внутреннее давление. Скафандр, в котором можно будет находиться как в помещении, так и в открытом космосе. Это откроет дорогу к космическим полетам для обычных людей.

Сейчас используются в основном такие скафандры, которые компенсируют давление созданием вокруг человека газовой среды с избыточным давлением, но почему бы не рассмотреть скафандр, который бы плотнее прилегал к телу. Все необходимое оборудование было бы в рюкзаке за спиной или распределено по всей его поверхности. Такие модели существуют, но эти совсем новые разработки все еще недостаточно компактные и подвижные. Космонавт в них скорее заходит, открывая рюкзак-крышку, чем надевает такой скафандр. Например, для упрощения пользования скафандром можно было бы сделать специальное покрытие на перчатках, которое позволяло бы работать с сенсорными панелями, не снимая сами перчатки. Шлем виртуальной реальности вполне сможет увеличить обзор и защитить глаза от резкого солнечного света. Так как пребывать в скафандре придется намного дольше, а движение в нем затруднено, требуются совершенно новые подходы и технологии создания герметичного скафандра.

Цель статьи — провести анализ перспективных технологий разработки герметичного скафандра и выделить возможные направления разработок.

Анализ действующих на скафандр космических факторов

В самом начале космической эры, когда человечество только начало осваивать космос, полеты не были долгими, но вскоре понадобилось гораздо больше времени пребывания в невесомости для различных исследований. Космонавты столкнулись с действующими космическими факторами: невесомость, радиация, «космическая болезнь», отсутствие физической нагрузки, потеря крови и костной массы, различные галлюцинации, гипертония, инсульты, онкологические заболевания.

Значительную опасность для человека, находящегося в космическом пространстве, представляет радиация. После выхода за пределы земной атмосферы и магнитного поля для космонавтов необходима защита. Радиация представляет собой поток заряженных и незаряженных частиц электромагнитного излучения. В космосе наиболее опасна ионизирующая радиация, т.е. рентгеновское и гамма-излучение солнца, также опасны и внегалактические лучи, которые образовались путем взрыва сверхновых звезд, от деятельности пульсаров и квазаров. Космическое излучение преимущественно состоит из протонов, электронов, фотонов и нейтронов. Неионизирующая радиация не так опасна для человека (ультрафиолетовое и инфракрасное излучение, видимый свет). Она не может пройти через обшивку корабля и скафандр. Человек, живущий на МКС, за 5 лет получает критическую дозу радиации, равную 1 Зв, т.е. 200 мЗв в год, тогда как обычный человек получает только 1 мЗв в год.

Пока влияние частиц на человека изучено мало, достоверно неизвестно, к чему может привести их воздействие. Человек может стать более агрессивным или потерять память, также ухудшается зрение, возрастает вероятность развития катаракты. Пока не предложено безопасного и действенного способа борьбы с радиацией, влияющей на человека в космосе. В то же время есть некоторые препараты, такие, как цистамин, цистеин, глутатион и аминоксилоты, которые могут уменьшить влияние радиации на организм. Среди недостатков такого метода то, что они сами являются токсичными и не прошли достаточно хорошей проверки, к тому же их придется использовать до полета. Хотя испытания этих препаратов были проведены на животных, действие на человека до конца не ясно.

Обобщенная доза от галактического космического излучения (ГКЛ) определялась на основе значений мощности среднекостномозговой дозы или близкого к ней значения среднетканевой дозы облучения.

$$H_B^{\text{ГКЛ}} = \frac{D_{\text{км}}}{\beta} (1 - e^{-\beta t}) \approx \frac{D^{\text{ГКЛ}}}{\beta} (1 - e^{-\beta t}), \quad (1)$$

где β — постоянная восстановления на уровне организма, равная 0,02 1/сут.

Радиочувствительность человека и животных подчиняется нормальному распределению Гаусса от дозы. Вероятность гибели характеризуется сигмоидной кривой и определяется на основе интеграла вероятности:

$$F(x) = (1/\sqrt{2}) \int_{-\infty}^x \exp[-(1/2)t^2] dt, \quad (2)$$

где t — нормированное по отношению к среднеквадратичному σ отклонение от среднелетальной дозы $H_{50/60}$, определяемое на основе соотношения $t = (H_B - H_{50/60})/\sigma$ [1].

Для расчета доз, полученных при межпланетном перелете, используется метод Монте-Карло. Суть метода заключается в том, что генерируется множество случайностей, из которых потом рассчитываются нужные значения (рис.1, 2).

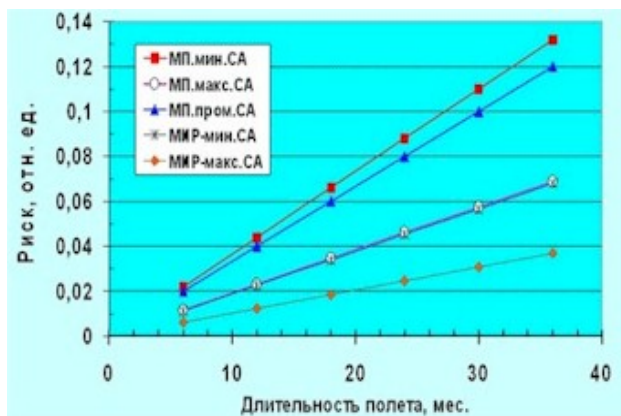


Рис.1. Суммарный радиационный риск в течение жизни космонавтов после межпланетного или орбитального полетов в различные периоды СА ($X_{60} = 30 \text{ г/см}^2$)

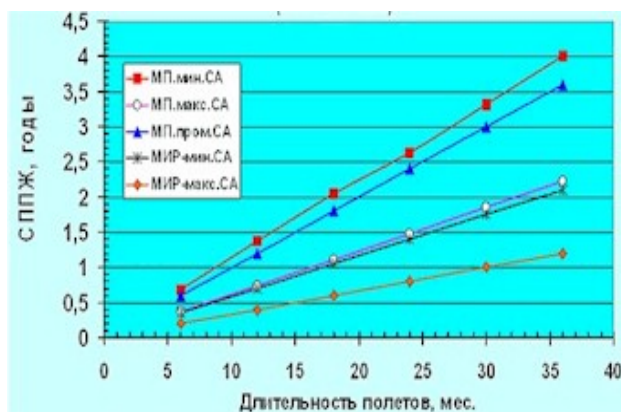


Рис.2. Сокращение предстоящей продолжительности жизни у космонавтов после завершения межпланетного или орбитального полетов в различные периоды СА ($X_{60} = 30 \text{ г/см}^2$)

На рис.3 приведены коэффициенты радиационного риска для разных тканей (органов) человека при равномерном облучении всего тела, рекомендованные Международной комиссией по радиационной

защите для вычисления эффективной эквивалентной дозы [1].

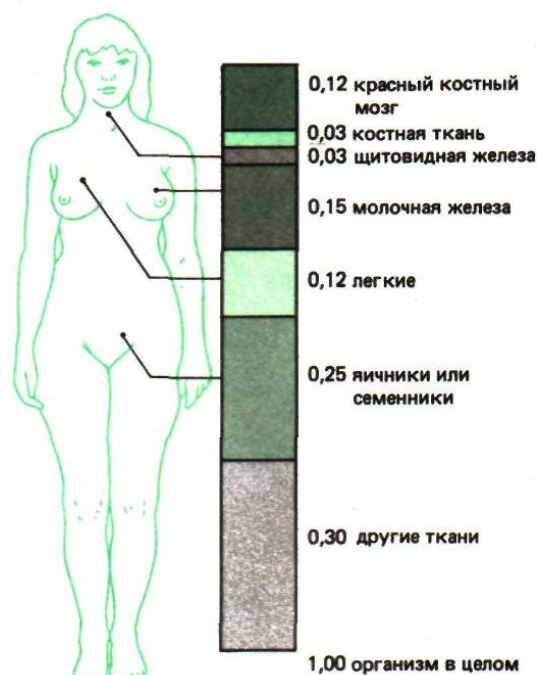


Рис.3. Коэффициенты радиационного риска для разных тканей (органов) человека при равномерном облучении всего тела

Для подготовки тактико-технических требований к разработке обычно начинают анализировать то, какие факторы действуют на тот или иной технический механизм. Приведём перечень факторов, которые действуют на человека, находящегося в скафандре в космосе или какой-либо агрессивной среде, от которой требуется защита:

- давление (среда: жидкость, газ, вакуум);
- тепло (определяют пределы действующих температур) и его отведение, необходимость подогрева;
- газовая среда, дыхательные смеси;
- радиационная безопасность, радиационная защита;
- инфекционная безопасность, биологическая защита;
- химическая безопасность, химическая защита;
- стойкость к агрессивным и внешним средам;
- информационная обеспеченность;
- аппаратура связи;
- электромагнитная совместимость;
- датчики
- удобство носить, снимать, одевать;
- разница в размерах и формах моделей;
- разница в материалах моделей;
- ремонтпригодность;
- надёжность;
- отведение человеческих выделений;
- бронированность и ударопрочность;
- старение материалов;
- громоздкость, габариты;
- масса;
- экзоскелет;
- стоимость и т.д.

Скафандр должен защищать космонавтов от низкого или высокого давления, низких и высоких температур, метеороидов и прочих внешних и внутренних факторов. Он должен стать средой обитания.

Известно, что у космонавтов возникают проблемы с иммунитетом, кожный покров значительно утоньшается, волосяной покров начинает расти внутрь кожи, возникают проблемы со зрением, возникают нарушения деятельности кровеносных сосудов. В головной мозг в условиях невесомости попадает слишком много крови и лицо опухает. Одной из наиболее уязвимых частей глаза является хрусталик. Пораженные клетки становятся непрозрачными, что и приводит к катаракте, следующим этапом будет уже слепота. Помутнение может образовываться уже при облучении до 2 Зв. Наблюдаются депрессии, бессонницы. У космонавтов увеличивается рост в связи с ослаблением мышц. Для решения этой проблемы они носят специальные тонизирующие костюмы «пингвин», которые дают дополнительную нагрузку на опорно-двигательный аппарат. Потеря костной массы за 1 месяц достигает 1-2 процента, происходит округление сердца, хотя после возвращения на Землю оно восстанавливается до нормальной формы. Лечение включает в себя фармакотерапию, а также тренировки вестибулярного аппарата. Решению этих проблем необходимо, наконец, уделить достаточно времени и предложить конструктивные варианты космических скафандра

Анализ перспективных технологий создания герметичного скафандра

В настоящее время в России используют скафандр типа «Орлан МК» пятой модификации. Скафандр предназначен для работы в открытом космосе и на орбитальных космических станциях. Масса снаряженного скафандра — около 114 кг, время работы системы жизнеобеспечения скафандра в одном цикле работы — не менее 10 часов, время работы от открытия до закрытия люка шлюзового отсека — не менее 7 часов. Он предназначен для людей ростом от 165 до 190 см. Рабочий срок эксплуатации составляет 4 года. Системы жизнеобеспечения дублированы. Космонавты сами регулируют размеры по росту за счет подгонки длины рукавов и оболочек ног, включая нижнюю часть корпуса. Стоимость скафандра около 3 млн. руб.

Для использования скафандра обычным человеком предлагается уменьшить его вес, сделать более подвижным, но при этом, не потеряв в защите, продлить время пребывания в космосе, улучшить систему жизнеобеспечения. Скафандр уже сам становится как небольшой корабль, куда можно поместить и робота-бортпроводника, который будет помогать космонавтам в их путешествии. Можно предложить шлем виртуальной реальности без стекол с внешними видеокамерами, полностью изолированный от видимого диапазона световых волн, тем самым увеличив обзор и защитив от экстремального уровня освещения. Реактивный ранец для более удобного перемещения может служить двигателем на большие рас-

стояния. Сделать перчаткам специальное покрытие для пользования сенсорными панелями — это решение позволит осуществлять удобную коммуникацию даже при ограниченном движении конечностями. Экзоскелет не только сохранит целостность оболочки скафандра, но и позволит сделать простым и удобным способ перемещения.

Требования для строения скафандра общие для всех, и важно учитывать возможность пребывания в космосе, обеспечение теплового режима, проведение операций и гибкость самого скафандра. Сейчас они предназначены для работы вблизи Земли, где космонавтов защищает магнитное поле. А около Луны такого поля нет, следовательно, необходима дополнительная защита от космического излучения [2]. Для дальнейшего совершенствования скафандра необходимо использовать датчики магнитного поля, тепла, движения, тока, радиации и пр., которые позволят лучше контролировать обстановку и обезопасят космонавта. Датчики магнитного поля, например, могут быть выполнены по технологии магнитоэлектриков и обеспечат высокую чувствительность [3-5]. Пьезоэлектрические преобразователи тока и напряжения могут быть использованы для питания датчиков и встроенной радиоаппаратуры.

Допустим, что все это уже воплотили в жизнь. Человеку больше не нужны столь сильные физические нагрузки, так как вес скафандра уменьшился. С помощью ранца он сможет преодолевать большие препятствия и выравнивать свое положение в невесомости. Специальное покрытие на перчатках позволяет пользоваться сенсорными панелями, не снимая их. Как работа в таком скафандре отразится на здоровье и жизнедеятельности организма? Необходимо проведение модельных и натурных испытаний. Для успешной реализации технологии лёгкого скафандра можно смоделировать большую часть космических воздействий в лабораторных условиях. Это позволит сократить время разработки и затраты, а также проверить большую часть моделей на практике.

Итак, ключевым моментом в разработке скафандра является поддержание жизнедеятельности организма человека без существенного повреждения его жизненно важных функций. Добиваясь баланса между техническими характеристиками, действующими факторами и стоимостью, можно создать новую более приемлемую модель скафандра, которая даст возможность развивать туризм как на орбите Земли, так и на её спутнике Луне. Разработка такого скафандра — перспектива ближайшего будущего.

Таким образом, перспективными технологиями создания герметичного скафандра могут являться технологии развития механических оболочек скафандра с учётом всех экстремальных факторов, действующих на организм человека. Необходимо существенно снизить массу скафандра и улучшить подвижность его сочленений, оснастить новыми электронными изобретениями.

Заключение

В статье проводится анализ факторов, действующих на скафандр в космических условиях. Рас-

считается влияние невесомости на организм человека, последствия пребывания в космосе, риски воздействия космической радиации и пр. Дается описание используемого в России скафандра, его характеристик. Предлагаются варианты улучшения характеристик. Проводится анализ перспективных технологий создания герметичного скафандра. Предлагается использование различных датчиков физических величин, в частности датчиков магнитного поля, выполненных по технологии магнитоэлектриков. Для питания датчиков и встроенной радиоаппаратуры предлагается применение пьезоэлектрических преобразователей тока и напряжения. Применение датчиков физических величин, современного электронного и радиооборудования обеспечит дополнительную безопасность при эксплуатации скафандров.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №17-48-530190.

1. Радиация. Дозы, эффекты, риск // Пер. с англ. Ю.А.Банникова. М.: Мир, 1990. 79 с.
2. Сообщения и материалы информационного агентства РБК // <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/5ade0be29a79478688e01245?from=newsfeed>
3. Бичурин М.И., Петров Р.В., Соловьев И.Н., Соловьев А.Н. Исследование магнитоэлектрических сенсоров на основе пьезокерамики ЦТС и Метгласа [Эл. ресурс] // Со-

временные проблемы науки и образования. 2012. №1. URL: www.science-education.ru/101-5367.

4. Соловьев И.Н., Соловьев А.Н., Петров Р.В. и др. Датчики электромагнитного поля // Сб. тр. Всерос. науч.-техн. конф. «Микроэлектроника СВЧ». Санкт-Петербург, 4–7 июня 2012. С.163–167.
5. Soloviev I.N., Bichurin M.I., and Petrov R.V. Magnetolectric Magnetic Field Sensors // PIERS Proceedings. Moscow, Russia, 19–23 August 2012. P.1359–1362.

References

1. Radiation. Doses, Effects, Risks. United Nations Environment Programme, 1985. 64 p. (Russ. ed.: Radiatsiia. Dozy, efekty, risk. Moscow, "Mir" Publ., 1990. 79 p.).
2. Soobshcheniia i materialy informatsionnogo agentstva «RBK» [News outlet RBC web portal]. Available at: <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/5ade0be29a79478688e01245?from=newsfeed>.
3. Bichurin M.I., Petrov R.V., Solov'ev I.N., Solov'ev A.N. Issledovanie magnitoelektricheskikh sensorov na osnove p'ezokeramiki TsTS i Metglasa [Magnetolectric microwave devices for phased array]. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia – Modern problems of science and education, 2012, no. 1. Available at: www.science-education.ru/101-5367.
4. Solov'ev I.N., Solov'ev A.N., Petrov R.V., Kovalenko D.V., Bichurin M.I. Datchiki elektromagnitnogo polia [Electromagnetic transducers]. Sbornik trudov Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Mikroelektronika SVCh» [Proc. All-Russian Sci. & Tech. Conf. on Microwave Microelectronics]. Saint Petersburg, 2012. P.163–167.
5. Soloviev I.N., Bichurin M.I., Petrov R.V. Magnetolectric magnetic field sensors. PIERS Proceedings. Moscow, 2012, pp. 1359–1362.