

УДК 523.3

Лунная база, проблемы обитаемости

Строгонова Л. Б.^{1*}, Столярчук В. А.^{1**}, Макарова С. М.^{2***}, Васин Ю. А.³

¹*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия*

²*Компания Румекс, ул. Твардовского, 8, Москва, 123458, Россия*

³*Институт медико-биологических проблем, ИМБП РАН, Подольное шоссе, 8, Москва,
115093, Россия*

**e-mail: buksan@list.ru*

***e-mail: vladimir.stolyarchuk@gmail.com*

****e-mail: smmakarova@gmail.com*

Аннотация

Будущие полеты на Луну будут нести не только политическое значение, как получилось с полётами американских космонавтов, но и иметь большой научный и экономический интерес, в том числе и коммерческий. Это предъявляет новые требования к созданию обитаемой базы на Лунной поверхности. Проведённый далее анализ известных, планируемых и реализованных программ обитаемости лунной базы показывает, что мы находимся в области со многими неизвестными. Опыт длительной эксплуатации орбитальных станций убедительно свидетельствует о том, что проект «Лунная база» может быть осуществлен в 21-м веке. Однако основным недостатком подобных разработок является ограниченность наших знаний о планетах, нерешенные проблемы радиационной и микробиологической безопасности, планетарного карантина, а также многие другие неизвестные составляющие, о которых на сегодняшний день мы даже не догадываемся. Для обеспечения безопасности человека в неизвестных условиях необходимо применение математических методов, позволяющих оценить степень риска для человека при реализации межпланетных миссий и создании обитаемых баз на планетах. Важным направлением данного проекта должна быть разработка критериев, по которым можно оценить возможность пребывания человека в неизвестных условиях. В заключении и выводах статьи обсуждаются предложенные критерии. Решение поставленной задачи требует совмещения двух областей знаний: области космической медицины и биологии и специальной области математического анализа – аппроксимация несобственной задачи. Постановка задачи должна учитывать требования по точности, результаты исследования беспилотными КА, ограничения окружающей среды, возможности экипажа и т.д. На начальном этапе проектирования требуется определить параметры, их периодичность, точность и режим работы в рамках создания необходимых условий для жизнедеятельности человека при полете к планетам и создания обитаемых

баз, т.е. параметры технической задачи оптимизации. В результате появляется возможность сформировать многоуровневую модель аванпроекта.

Ключевые слова: безопасность, качество жизни, обитаемая космическая база, системы жизнеобеспечения, медицинский контроль, экзобиология

Введение

За более чем полувековой период космонавтика прошла большой и сложный путь. С момента первого полета человека в космос чрезвычайно важным остается обеспечение безопасности пилотируемых полетов в космос. Вопрос качества жизни космонавтов впервые возник при эксплуатации Международной космической станции (МКС), когда космонавты, побывавшие на станции МИР, сравнивали условия жизни и работы на этих двух станциях. Философия качества жизни в конце XX века выходит на первый план в государственной политике и социальной работе в наиболее развитых странах мира. В научном сообществе полагают, что наше недопонимание того, кто мы такие, откуда мы и что делаем на Земле, не позволяет найти общие основные тенденции к повышению качества и безопасности жизни людей. Некоторая часть научного сообщества считает, что причиной нашего непонимания путей повышения качества и безопасности жизни является то, что технический прогресс не стоит на месте. Постоянно в мире происходят новые открытия, появляются новые изобретения, техника с каждым днем становится все совершеннее, но это приводит к обострению экологической ситуации, влияющей непосредственно на качество и безопасность жизни человека на Земле. Возможно, некоторым выходом из сложившейся ситуации будет реализация запланированных проектов по созданию обитаемой базы на поверхности Луны. Данная работа рассматривает основные аспекты, проблемы и нерешенные вопросы создания обитаемой Лунной базы. При этом, основным критерием создания базы является не критерий выживаемости персонала базы, хотя он обязательно присутствует, а индикаторы качества и безопасности жизни. Знание состава опасностей, их характеристик, источников и причин возникновения, особенностей их появления и развития лежит в основе всего процесса обеспечения безопасности экипажа космических станции. Этот принцип обеспечения безопасности зародился на заре космических полетов и имеет одно из решающих значений и в настоящее время. Однако опыт эксплуатации долговременных космических станции ярко продемонстрировал, что наряду, с техническими и организационными вопросами обеспечения безопасности космических полетов, на первый план выдвигается, так называемый, «человеческий фактор» обеспечения безопасности космической экспедиции на всех её стадиях. В отечественном ракетостроении и космонавтике разработана и используется, система нормативных и руководящих документов, при выполнении которых обеспечивается высокая надежность ракетно-космической техники в полете. Одним из этапов проектирования является аванпроект. Практика пилотируемой космонавтики показывает, что, несмотря на действия существующих регламентных документов для всех этапов жизненного цикла (от

проектирования ракет и объектов, запуска космического объекта до этапа функционирования пилотируемой станции или обитаемой планетарной станции) происходят и будут происходить нештатные ситуации, приводящие, в том числе и к тяжелым негативным последствиям. При этом значительное количество отказов, в настоящее время связано с нарушением регламентов, а от 30 до 60 процентов нарушений обусловлено, так называемым, «человеческим фактором». Задача данной статьи показать неопределенности, которые неизбежно встанут перед проектировщиками Лунной базы. Данная работа рассматривает основные аспекты, проблемы и нерешенные вопросы создания обитаемой Лунной базы. При этом, основным критерием создания базы является не критерий выживаемости персонала базы, хотя он обязательно присутствует, а индикаторы качества и безопасности жизни человека в Космосе [1]. К индикаторам мы относим три матрицы параметров. Первая матрица характеризует здоровье, работоспособность, дальнейшую продолжительность жизни и т.д. Вторая матрица параметров, отражает удовлетворенность средой обитания лунной базы, профессиональной деятельностью, безопасностью, экологическими факторами. Третья матрица, это психологические параметры, в том числе и поведенческие, социальные, групповые и т.д. Для разработки обитаемой базы кратко рассмотрим, что нам известно о Луне [1,2].

Физические константы Луны

Луна – единственный естественный объект Галактики, на котором побывали люди, проведены исследования лунного грунта, в том числе и на Земле. Однако не существует полностью доказанных теорий происхождения Луны, строения и особенностей окружающей среды в её различных регионах. Некоторые физические константы, которые необходимо учитывать при строительстве обитаемой лунной базы, известны и представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Константа	Величина
Масса	$7,35 \cdot 10^{25}$ Г
Радиус	1737 км
Ускорение силы тяжести на поверхности Луны	162 см/с^2
Средний радиус орбиты	384 403 км
Эксцентриситет орбиты	0,05490
Скорость убегания	2,38 км/с
Сидерический месяц	$27^d,32166$

Гравитационное поле Луны

Гравитационное поле Луны детально исследовалось с помощью лунных орбитальных спутников, и эти исследования продолжаются до сих пор. Гравитационное поле Луны можно описывать рядами со сферическими гармониками. Трехосевая

эллипсоидальная неравновесная форма Луны является загадкой. На Луне определены области значительных локализованных масс. Замечены достоверные отрицательные и положительные гравитационные аномалии. Некоторые из них определены географически, другие – предположительно, особенно на обратной стороне Луны. Имеющиеся данные не позволяют однозначно определить изменения гравитационного поля Луны. Этот факт, несомненно, повлияет на выбор области строительства обитаемой лунной базы.

Поверхность Луны

Лунная поверхность покрыта кратерами и обширными ровными пространствами. Именно в кратерах обнаружены наиболее значимые гравитационные аномалии. Однако, происхождение кратеров до сих пор достоверно не определено. Моря, наблюдаемые в настоящее время, представляют собой области, грунт которых состоит из мелко раздробленных кристаллических и стекловидных частиц. Толщина пород может достигать 1 км, а в некоторых местах – 6-9 км.

Химический состав Луны

Анализ лунных пород показал следующее:

- на лунной поверхности есть несколько различных видов поверхностного грунта;
- возможно наличие воды (в виде льда на полюсах);
- грунт во многих местах радиоактивен, но поскольку Луна не имеет защитной атмосферы, наблюдалась радиация высоких энергий, регистрируемая на большой высоте над лунной поверхностью;
- биологических, в том числе и ископаемых форм, на Луне не обнаружено.

Химический анализ подтвердил наличие углеводов, соединений углерода, водорода, кислорода и азота.

Магнитные камни Луны

Дипольного поля на Луне не обнаружено. Однако, в местах посадки кораблей “Apollo” обнаружены магнитные камни. Имеются также определенные лунными спутниками довольно большие намагниченные области. Величина магнитного вектора камней и областей изменяется и требует дополнительного определения. Из краткого обзора следует: строительство лунной базы необходимо проводить в хорошо изученном секторе Луны. Лунную базу, возможно, придется размещать на поверхности Луны, предусмотрев защиту от излучений лунного грунта и радиационного фактора космической среды. Для определения места размещения лунной обитаемой станции, проектировщик вынужден принимать во внимание все известные факторы, в том числе теории происхождения Луны (O’Keefe J.A, *Isostasy on Moon*. Science, 2000,162, 3860, 1405). Вопросы архитектурной конфигурации лунной базы, столь подробно обсуждающиеся в периодической литературе, являются вторичными по отношению к вопросам обитаемости.

Система обеспечения жизнедеятельности людей на лунной базе

Пригодная для дыхания атмосфера, подходящая температура, достаточное количество и ассортимент пищевых веществ и воды, удаление отходов – это минимальные условия, без которых невыносимо даже кратковременное пребывание человека на Луне. Эти же условия являются исходными данными для проектирования системы жизнеобеспечения лунной базы. При этом, мы понимаем, что при таком подходе к

проектированию, качество жизни обитателей лунной базы будет низким. Разумеется, система жизнеобеспечения (СОЖ) обязана обеспечивать параметры жизнедеятельности с большим запасом надежности. При этом СОЖ не должна создавать дополнительных неблагоприятных факторов существования человека в герметичном пространстве. Так, например, существующие в настоящее время на пилотируемых космических объектах системы жизнеобеспечения являются основным источником шума и создают среду, благоприятную для размножения в застойных зонах микроорганизмов. Некоторые из микроорганизмы столь агрессивны, что отдельные их виды могут питаться даже титановыми сплавами, широко применяемыми в космической технике. Следует ожидать, что исходные данные для проектирования системы жизнедеятельности экипажей лунной базы со временем могут изменяться.

Однако, так же, как и в земной физиологии и медицине существует еще много неизвестного. Следует отметить, что каждый новый цикл исследований выдвигает новые проблемы в этой области, технические расчеты еще далеки от совершенства, поэтому сейчас можно оперировать лишь усредненными и предельными значениями параметров метаболизма человека в условиях земной атмосферы, при этом необходимо произвести корреляцию этих значения с данными реальных космических полетов и экспедиций. Основной задачей СОЖ и самой трудной частью проекта Лунной базы является проблема сохранения жизни и здоровья космонавтов при нахождении на лунной поверхности. Высшие достижения советской и российской космонавтики показали, что человек может находиться в космосе и 365 – 450 суток. Правда это околоземные полеты под радиационной «защитой» магнитного поля Земли, при очень интенсивной поддержке с Земли и возможности экстренной помощи в случае экстремальной ситуации. Лунная база по этим параметрам кардинально отличается от полетов по околоземной орбите и будет работать фактически в экстремальных условиях: магнитосферная защита отсутствует, пополнение расходуемых материалов не может быть частым и полным, реальной скорой помощи не будет. Именно поэтому должны вестись исследования по поиску передовых технологий СОЖ. Необходимо предельно (до 65-70%) повысить коэффициент замкнутости этой системы. Целесообразно также в целях уменьшения влияния пониженной силы тяжести и облегчения обратной адаптации к условиям Земли длительность лунных экспедиций ограничивать до 6 месяцев.

Система обеспечения жизнедеятельности космонавтов на лунной базе состоит из многих звеньев. Некоторые из них достаточно проработаны, для других существует лишь теории, не всегда удовлетворяющие современным научным взглядам. Следует согласиться с мнением Б.Е.Чертока о том, современные системы жизнеобеспечения космических станций ,остановились на научно-техническом уроне 70-х годов прошлого века

Эргономические и санитарно-гигиенические требования к лунной базе

Эргономические исследования и рекомендации должны основываться на выяснении закономерностей психических и физиологических процессов, лежащих в основе определенных видов трудовой деятельности, с предметом труда и окружающей физико-химической и психологической средой.

В последние годы много новых идей возникло в связи с рассмотрением трудовой деятельности как процесса взаимодействия человека с машиной и более сложными

системами управления. Некоторые из этих идей, достаточно конструктивны. Предполагается, что они смогут обеспечить переход от качественных параметров к структурно-количественным представлениям в разработке теории деятельности человека. Значительный вклад в понимание психофизиологического содержания трудовой деятельности внесли исследования по физиологии труда в условиях Международной космической станции. Приступая к объемной компоновке обитаемой лунной базы необходимо учесть не только эргонометрические требования, но и санитарно-гигиенические требования.

Биологическое звено системы жизнеобеспечения экипажей лунной базы

Научно обоснованный и экономически выгодный длительный срок существования обитаемой лунной базы предполагает создание биологического звена системы жизнеобеспечения. Именно это звено позволит сделать среду обитания человека на лунной базе адекватной требованиям биогенной сущности среды. Представление о биологически адекватной среде обитания были составлены еще в 70-х годах 20-го века О.Г.Газенко, Е.Я.Шепелевым и Н.В.Тимофеевым-Ресовским.

Перспективы биологического звена системы жизнеобеспечения лунной базы следует оценивать не столько с позиции рентабельности их в весовом и энергетическом отношении, сколько на основании потребности в среде обитания более адекватной земным условиям. В настоящее время создание биологического звена СОЖ лежит в сфере теоретической и экспериментальной биогеоэкологии и означает включение человека в состав искусственно сформированного биоценоза, способного к относительно самостоятельному существованию в состоянии длительного динамического равновесия на основе главным образом внутренних механизмов управления при полузамкнутом (или относительно замкнутом) круговороте веществ. Для современной биологии это является принципиально новой проблемой.

Основной и наиболее разработанной частью биологического звена СОЖ, в том числе и испытанного в космосе, являются космические оранжереи. Но так они достаточно подробно освещены в многочисленных публикациях, то остаются за рамками настоящего исследования.

Остальные параметры биологических систем жизнеобеспечения неизвестны, для некоторых из них не существует теории.

Микрофлора помещений лунной базы

Атмосфера Лунной базы должна удовлетворять как физиологическим, так и гигиеническим нормативам. Гигиеническая обстановка на обитаемой лунной базе определяется выделением вредных веществ самим человеком, оборудованием, микроорганизмами.

Блок животных и оранжерей должен иметь независимую от общей СОЖ и соединяться с базой системой шлюзов.

На основании опыта многолетней эксплуатации российских орбитальных станций, определены наиболее значимые микробиологические риски (медицинские, технические, технологические), способные оказывать влияние на безопасность полета и надежность функционирования космической техники. Процессы микробной контаминации среды, оснащения и оборудования обитаемых отсеков, протекают с высокой интенсивностью в условиях непрерывной работы сменяющихся экипажей, при осуществлении грузопотока (доставки с Земли различного оборудования, расходуемых материалов и т.п.). Данный

раздел космической биологии и медицины, в настоящее время бурно развивается. Мы можем сделать лишь предварительные выводы:

- не создано средств и методов для определения вида микробиологического компонента в условиях малой гравитационной составляющей;

- существует лишь два вида аппаратуры для обеззараживания обитаемых помещений лунной базы с теми или иными ограничениями.

Принципы построения системы питания на лунной базе

По-видимому, основная часть продуктов питания будет поставлять с Земли в сублимированном виде. Биологическое звено системы жизнеобеспечения поставляет к столу членов лунной экспедиции некоторое количество полноценного белка (яйцо перепела), и витаминную продукцию (оранжерей).

Радиационная безопасность обитаемой лунной базы

В настоящее время становится понятным, что методы пассивной радиационной защиты лунной базы могут быть лишь дополнительными методами. Расчет пассивной радиационной защиты может быть проведен только при четком определении и исследовании места расположения лунной базы.

Наиболее эффективна для радиационной защиты лунной базы – динамическая защита. Динамическая защита основана на физическом эффекте альбеда фотонов и нейтронов. По своей сути это отражение фотонного и нейтронного потоков за счет магнитного, электромагнитного и даже светового поля. Требуется следующие разработки:

- работы по созданию подобной защиты находятся в стадии научных проектов. Ведутся разработки биологических аспектов радиационной защиты;

- построение системы радиационной защиты лунной базы требует развития методов прогнозирования, моделирования и учета биологического действия радиационных потоков на месте расположения обитаемой лунной базы;

- требуется разработка и оценка влияния на организм человека динамических методов радиационной защиты обитаемой лунной базы.

Психологическое обеспечение экипажа лунной базы

В настоящее время совокупность приобретенных знаний позволила космической психофизиологии разработать критерии психологической надежности и обеспечить на этой основе психическое здоровье и высокую работоспособность космонавтов в длительных космических полетах на орбитальных станциях, что дает возможность предполагать их развития для обеспечения лунной базы. Тем не менее, медицинское наблюдение за психическим состоянием и работоспособностью космонавтов в длительных космических полетах выявило у членов экипажей случаи нарушений сна, эмоциональной неустойчивости, снижения работоспособности и других симптомов, квалифицируемых специалистами как проявление утомления, астенизации, акцентуации черт характера и других форм психической дезадаптации. В условиях более продолжительных полетов с расширенной, усложненной программой при необходимости формирования экипажей не только из профессионально подготовленных лиц с высокой нервно-психической устойчивостью. Необходимы специалисты различных возрастных групп и категорий здоровья. Вследствие этого можно прогнозировать усиление указанных реакций с соответствующим снижением эффективности деятельности. Комплексный

подход к разработке автоматизированных средств психодиагностики, психопрофилактики, коррекции функционального состояния и оптимизации профессиональной деятельности космонавта на основе последних достижений в области теории и практики психологии, информатики и вычислительной техники отвечает требованиям современной пилотируемой космонавтики и космической психофизиологии в обеспечении профессиональной надежности космонавтов[3]. Создание автоматизированного психофизиологического комплекса на лунной базе и его использование в ходе лунной экспедиции позволят углубить наши представления о механизмах психологической адаптации человека к микрогравитации и неизвестным факторам лунной экспедиции. При этом должна решаться проблема психологического отбора членов лунной экспедиции, хорошо отработанная на международной космической станции. Целесообразно упомянуть и пять килограммов личного груза на каждого члена экипажа лунной базы. Кажется уместной и поставка дополнительного личного груза транспортными кораблями.

Медицинское обеспечение экипажей лунной базы

Космическая медицина, обеспечивающая безопасность и сохранение здоровья и работоспособности человека в космосе, развивается в тесном взаимном контакте с практической медициной, используя и обогащая ее новыми методологиями и разработками. Помимо анализа информации с бортовых медицинских приборов с информационной точки зрения мониторинг состояния здоровья членов экипажа изолированного объекта связан с решением двух важных новых задач: распознавание изображений, получаемых медицинскими приборами и необходимость оперативного принятия решений бортовым врачом [3].

Тренировочный зал должен быть спроектирован для одновременной тренировки не менее трех космонавтов.

Медицинский контроль – зона медицинского контроля. Основное назначение медицинского контроля — прогноз возникновения и развития заболеваний путем контроля физиологических и биохимических показателей организма, медикаментозное лечение в случае появления признаков заболевания и при постановке диагноза. Объем зоны медицинского контроля – 30 м³. Минимальная масса оборудования – 110 кг. Должно быть предусмотрено свободное пространство - 20 м³.

Лечебный блок. Должен включать в себя как минимум:

- операционную для оперативного вмешательства в случае необходимости, операционный стол входит в состав блока компьютерной томографии;

- искусственная вентиляция легких — поддержание функций дыхания при оперативном вмешательстве, в случае оказания первой помощи при остановке дыхания. В состав входит аппарат для наркоза, управляемый, при необходимости, автоматически.

- дефибриллятор — проведение электростимуляции миокарда при фибрилляции предсердий или желудочков в случае остановки сердца.

- набор препаратов и инструментов, специально разработанных и испытанных для использования в условиях микрогравитации.

Минимальный объем лечебного блока - 80 м³. Минимальная масса оборудования – до 4000 кг. Подобная аппаратура либо не существует, либо существует в виде лабораторных образцов.

В терапевтический блок входит блок изоляции и реанимации, который может обслуживать весь экипаж лунной базы одновременно (до 12 человек). Назначение указанного блока - изоляция больного от остального экипажа, послеоперационная реанимация, а также проведение дополнительных научных медицинских исследований влияния факторов лунной среды на организм человека.

Состав - 6 медицинских коек, аппарат ИВЛ, ЭКГ, индикация АД, ЧСС, ЭКГ, компьютерный томограф (на основе ядерно–магнитного резонатора). Оболочка компьютерного томографа является силовой частью конструкции блока изоляции и реанимации. При необходимости данный блок может служить радиационным убежищем.

Минимальный объем аппаратуры – 155 м³. Минимальная масса оборудования – 2000 кг.

Проблемы экзобиологии на обитаемой лунной базе

При освоении космического пространства необходимо предусмотреть ряд мер по предотвращению загрязнения Космоса земными формами жизни, а также органическим веществом, доставляемыми с Земли космическими аппаратами (КА) и деятельностью обитаемой лунной базы.

Не меньшую, с точки зрения жителей Земли, а гораздо более серьезную опасность представляет вполне вероятная возможность заражения Земли внеземными или трансформированными в условиях Луны земными патогенными организмами. Это могут быть микроорганизмы типа микробов, вирусов или виридов, или токсичными биологически активными веществами типа измененных белков и нуклеиновых кислот, занесенных возвращаемыми КА с Луны или космического пространства.

Поэтому необходимость разработки надежных карантинных мероприятий для астронавтов и меры по строжайшему биологическому контролю и оценке потенциальной патогенности или токсичности доставляемых на Землю внеземных субстратов и возвращаемых частей КА не подлежит никакому сомнению.

Важнейшей задачей планетарной защиты (ПЗ) при организации космических полетов является снижение до безопасного уровня риска микробиологического загрязнения Луны земными микроорганизмами (и продуктами их жизнедеятельности), неизбежно контактирующими в отсутствие специальных предосторожностей с приборами и оборудованием, находящихся на борту посылаемого к планете космического аппарата.

Современная концепция ПЗ принимает вероятностный аналитический подход к проблеме, связывающий воедино различные факторы, которые необходимо учитывать при расчете риска заражения планет.

Перечисленные выше вопросы создания обитаемой Лунной базы, не включают в себя некоторых уникальных, еще нерешенных в пилотируемой космонавтике проблем, как то проблемы создания искусственной силы тяжести, проблемы удаления отходов и т.д.

Заключение и выводы.

В статье рассмотрены только некоторые наиболее важные вопросы составляющие блок индикаторов, влияющих на качество жизни в проектируемой лунной базе.

Существует общее достаточно обоснованное понимание задач по проблеме обитаемости лунной базы, обеспечивающее исследователям работы по определению и реализации априори заданного уровня качества жизни:

- Основные вопросы проблемы обитаемости лунной базы еще не сформированы до стадии выдачи проектных параметров лунной базы;
- Наряду с предыдущим пунктом обоснованно доказано, что система обеспечения жизнедеятельности должна быть полужамкнутого типа. Основой регенерации систем СОЖ становится звено биологической системы обеспечения жизнедеятельности с включением в нее наиболее безопасных физико-химических СОЖ;
- Анализ данных по системе обитаемости показал, что социально-психологические, биологические, медико-биологические, экологические проблемы, должны решаться уже на этапах проектирования Лунной базы;
- Возможно, наиболее трудной, с технической, методической и экономической точек зрения, будет решение проблемы радиационной безопасности экипажа лунной базы;
- Система медицинского контроля и оказания помощи, в том числе и психологической, экипажу лунной станции является наиболее адекватной данному моменту разработки лунной программы. Однако она должна быть дополнена вопросами радиационной медицины;
- Микробиологическая проблема и проблема экзобиологии находятся в стадии развития и в ближайшее время смогут определить задачи и пути их реализации для лунной экспедиции и функционирования обитаемой лунной базы.

Библиографический список

1. Строгонова Л.Б., Макарова С.М., Столярчук В.А.. Обучение специалистов высшей квалификации при решении проблем освоения космического пространства для оценки степени риска человека при межпланетных миссиях. Тезисы доклада 61 МАФ, Прага, 2010, 61 IAC-10-E1.3.11.
2. О Киф. Изучение Луны. Наука, 2000г., том 162, рег.3860, 1405стр.
3. Строгонова Л.Б. Математические методы и аппаратура для психофизиологического контроля и поддержки групп, работающих на особо опасных производствах. ISTIC Scientific Advisory Committee, London, UK, 2003, стр. 106-124.