

The analysis and experimental improvement of the factor of working positioning of an astronaut on a surface of Mars.

Babkin A. N.

In the article is regarded an factor " working positioning ", which one is similar on physical sense to the factor "fixation" taken from model of efficiency orbital extravehicular activities (EVA). In an investigated system planetary EVA to ensure positioning marsonaut (astronaut in the pressure garment assembly under an overpressure located on a surface of Mars) notably is more difficult. It is necessary to lower energy consumptions both time for slopes and crimps of «aerogirder» of the pressure garment assembly from an equilibrium position, that can be reached *by an* marsonaut by activity in the most expedient posture.

Анализ и экспериментальная отработка фактора рабочего позиционирования космонавта на поверхности Марса

А.Н. Бабкин

В статье рассматривается фактор «рабочее позиционирование», который аналогичен по физическому смыслу фактору «фиксация», взятого из модели эффективности орбитальной внекорабельной деятельности (ВКД). В исследуемой системе планетной ВКД обеспечить позиционирование марсонавта (космонавта в скафандре под избыточным давлением, находящегося на поверхности Марса) заметно сложнее. Необходимо снизить затраты энергии и времени на наклоны и сгибы «аэробалки» скафандра из равновесного положения, что может быть достигнуто марсонавтом при работе в наиболее выгодной позе.

Практический опыт работы человека на поверхности другой планеты в скафандре (СК) был получен во время лунных экспедиций. Э. Олдрин отмечал, что, несмотря на преимущества малой гравитации, чувства ориентации и собственной силы частенько подводили. Трудно было определять углы наклона вперёд и назад. Ранец системы обеспечения жизнедеятельности на Луне весил около 9 кг (на Земле 56 кг), но даже этот вес оттягивал назад, так что приходилось наклоняться вперёд, чтобы сбалансировать своё положение. Мягкий слой грунта составлял от одного (на ровных участках) до десяти сантиметров у краев кратеров. Из-за этого, при наличии под ним твёрдых склонов, начиналось скольжение (цитируется по материалам пресс-конференции экипажа "Аполлон-11" 12.08.1969). Подобные явления могут проявляться и на Марсе.

Дополнительным возмущающим моментом может сказаться наличие резкого усиления (или порывов) ветра, хотя и в разреженной атмосфере.

В работе [3] рассчитано максимальное значение аэродинамической силы (16,52 Н) при скорости ветра $v=30$ м/с. Можно предположить, что при скорости ветра 100 м/с и более, особенно при порывах ветра, нагрузки на СК смогут достигать значений, на порядок выше указанных. Биомеханическая подсистема «марсонавт» должна будет компенсировать внешние воздействия в процессах двигательной деятельности, при минимуме её энергопотребления.

Рассмотрение вопросов равновесия СК проведём последовательно в трёх фазах А, Б и В [1].

А. Виды равновесия СК, как твёрдого тела и его устойчивость

До границы ограниченно-устойчивого равновесия СК с манекеном внутри (рис.1) сила тяжести образует момент устойчивости, который может восстановить положение равновесия,

то есть по мере отклонения тела опрокидывающей силой ($F_{\text{ОПР}}$), приложенной в центре поверхности тела (ЦПТ) объединённый центр масс (ОЦМ) поднимается вверх, что требует затрат усилий на эту работу. Если продолжать опрокидывать тело, перейдя эту границу, то потенциальная энергия начнёт уменьшаться (преодоление “потенциального барьера”). Момент силы тяжести станет уже опрокидывающим моментом.

В пределах “потенциального барьера” равновесие ограниченно-устойчивое.

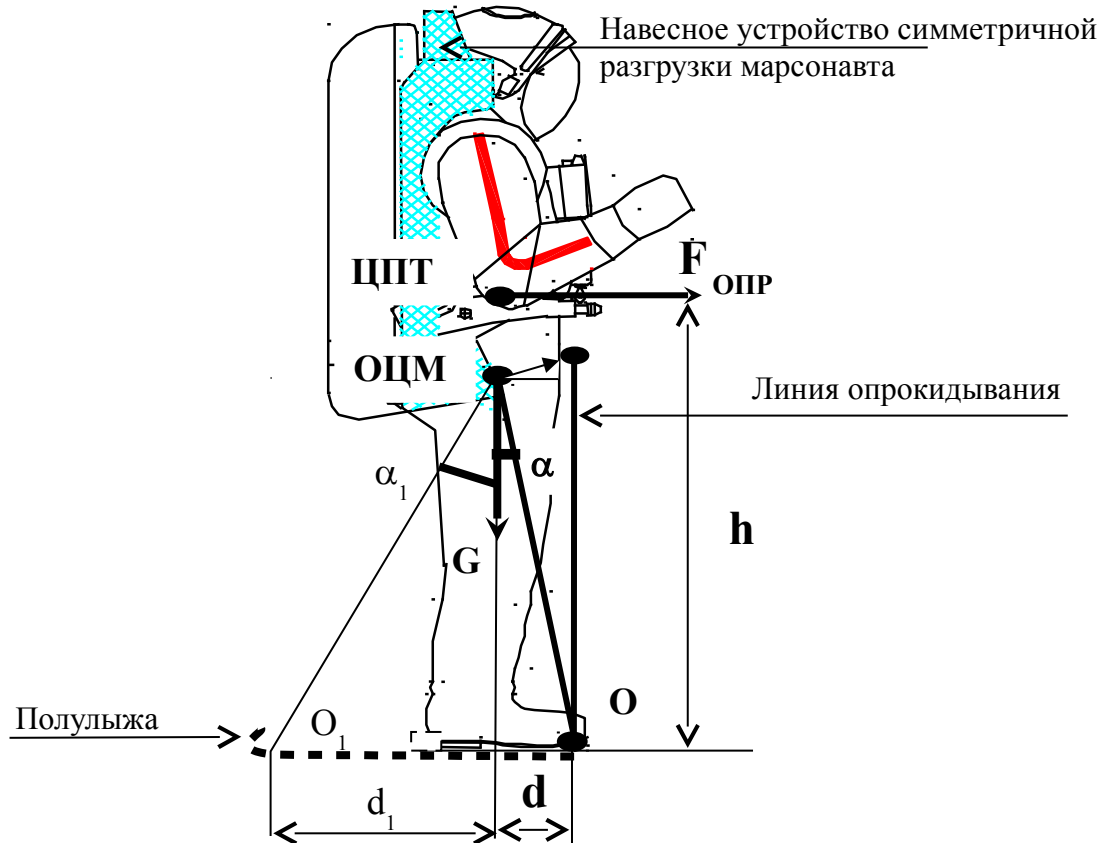


Рис. 1. Схема размещения векторов и точек приложения возмущающих воздействий

Статический показатель устойчивости определяется отношением момента устойчивости к моменту опрокидывания. Это соотношение называется *коэффициентом устойчивости* ($K_{\text{уст}}$), он характеризует способность тела сопротивляться опрокидыванию в данных условиях. Когда его значение больше единицы тело не опрокидывается произвольно.

$$K_{\text{уст}} = \frac{M_{\text{уст}}}{M_{\text{ОПР}}} = \frac{G d}{F_{\text{ОПР}} h}$$

где $M_{\text{уст}}$ -(предельный момент) равный произведению силы тяжести тела на ее плечо относительно линии опрокидывания в самом начале отклонения от положения покоя;

$M_{\text{ОПР}}$ - момент опрокидывающей силы, который равен ее произведению на плечо относительно той же линии опрокидывания.

Динамический показатель устойчивости определяется углом устойчивости α , который показывает, в каких пределах ещё действует момент устойчивости $M_{\text{уст}}$.

Статический и динамический показатель устойчивости применимы для оценки положения человека в СК, когда поза его неизменна. Для подвижного человека в СК (как биомеханической системы) при оценке устойчивости положения необходимо учесть следующие обстоятельства:

1. Поверхность опоры практически всегда больше площади эффективной опоры (линия опрокидывания всегда расположена внутри границы поверхности опоры). Мягкие ткани и недостаточно сильные мышцы не могут уравновесить нагрузку, и опрокидывание будет раньше, чем линия тяжести пересечет край опорной поверхности.
2. Человек в СК при попытке опрокидывания чаще всего не сохраняет позы, а изменяет свою конфигурацию, его звенья перемещаются в тех или иных суставах (с поворотом в шарнирах и гермоподшипниках СК).

Следовательно, *показатели устойчивости твердого тела в применении к человеку в СК дают возможность только в общей форме оценить механические условия его устойчивости*. Однако изменением угла устойчивости α_1 за счет применения предложенной автором полулыжи (на рис.1 показана пунктиром), можно исключить падение назад. Это направление падения, по результатам отработки лунной программы, особенно проблематичное из-за невозможности самостоятельно встать на ноги при лунной гравитации (0,17g), что требует экспериментальной отработки для Марса (0,38g).

*Б. Анализ отличительных особенностей тела человека как биомеханической системы
(применительно к обеспечению устойчивого позиционирования)*

Человек может не только сохранять равновесие, но и восстанавливать его в случаях нарушения. Устойчивость тела человека в СК определяется его возможностями активно уравновешивать возмущающие силы, останавливать начинающие отклонение и восстанавливать положение. Экспериментально подтверждено, что в малых пределах (0 -5°) угла отклонения от вертикали, возврату в исходное положение помогает “аэробалка” СК.

Так как человек может использовать для сохранения положения тела только площадь эффективной опоры (ПО), то ей соответствует расположенная над ней *зона сохранения положения*, при неудерживающей (рис.2) и удерживающей опоре (рис.3).

Величина этой зоны на рисунках указана в % и зависит от физических сил человека (возможности сохранения позы), уровня его подготовленности (навык сохранения положения). В пределах этой зоны он может самостоятельно остановить начавшееся отклонение.

И лишь когда ОЦМ выйдет *в зону восстановления положения* (область, где невозможно статическое равновесие), СК, рассматриваемый как твёрдое тело, уже не может

сам под действием только силы тяжести восстановить положение. А человек в СК, как биомеханическая система способен активными движениями вернуться в заданное положение.

Размеры всех зон индивидуально различны и определяются многими факторами. Так размер *зоны сохранения положения* зависит от типа связи с опорой (по Б.В. Коренбергу)[2]:

- при неудерживающей опоре зона сохранения положения составляет 50% от размеров площади опоры (рис.2);
- при удерживающей опоре (с помощью фиксирующих устройств) 110-150%. Моменту силы тяжести тела противодействует момент, образованный захватом опоры (рис.3).

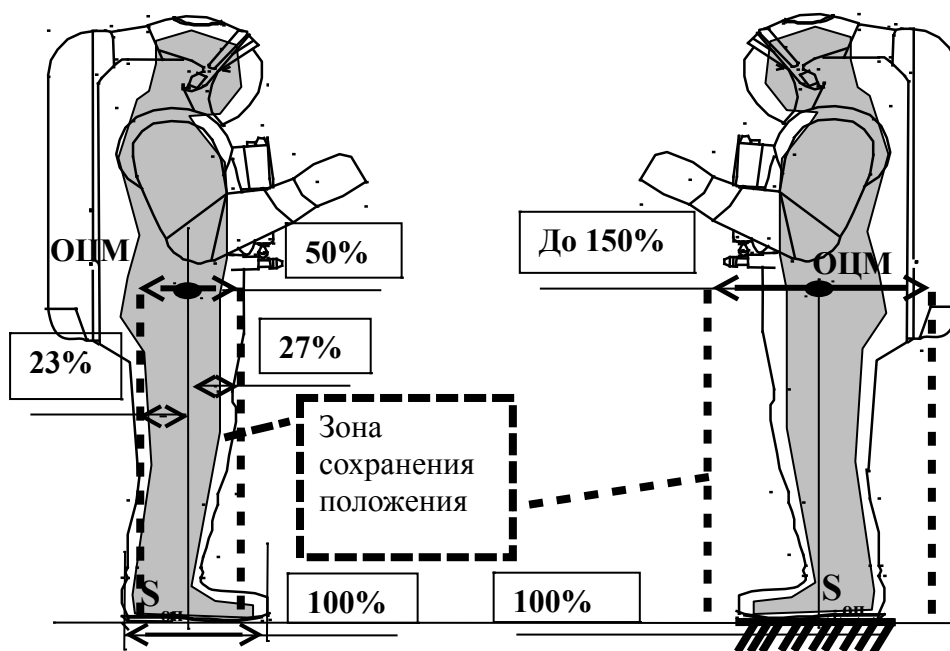


Рис. 2. Зона сохранения положения при неудерживающей опоре

Рис. 3. Зона сохранения положения при удерживающей (фиксирующей) опоре

В. Определение критериев рабочего позиционирования человека в СК и оценка технической возможности их автоматической реализации

Сохранение рабочего позиционирования (уверенная устойчивость) может достигаться управлением уравнивающими и восстанавливающими силами при компенсаторных, амортизирующих и восстанавливающих движениях марсоавта.

Компенсаторные движения направлены на предупреждение выхода ОЦМ тела за пределы зоны сохранения положения при возмущающих воздействиях и при собственных движениях на месте. Компенсаторные движения нейтрализуют воздействие возмущающих сил на центр масс тела, они выполняются обычно подсознательно одновременно с отклонениями.

Амортизирующие движения уменьшают эффект действия возмущающих сил. Это обычно уступающие движения, которые направлены в сторону действия возмущающей силы. Они замедляют начавшееся отклонение и останавливают его. Их выполняют (как и компенсаторные движения) одновременно с действием возмущающих сил.

Восстанавливающие движения направлены на возвращение ОЦМ тела в зону сохранения положения из зоны восстановления положения: либо под действием внешней силы переместить ОЦМ тела в зону сохранения равновесия, либо, переместив точку опоры, «подвести» её под центр масс тела.

Нередко приходится сочетать два, а то и три способа сохранения и восстановления положения в виде одного комбинированного действия. Таким образом, сохраняя положение, человек управляет своими движениями, борется с отклоняющими силами активно, *что принципиально отличается от пассивного уравнивания неживых тел*. Анохин первым (1935) из физиологов экспериментально доказал и теоретически обосновал, что воспринимающие периферические аппараты и ответственные рабочие органы составляют вместе с центральной нервной системой динамическое единство, в котором только для отдельных случаев можно с определенностью говорить о доминировании того или другого.

Технически возможно, используя принципы построения функциональных систем, продолжать удерживать равновесие и за пределами способностей человека, когда без дополнительного внешнего воздействия падение неизбежно. Если переложить эти функции на специальную дополнительную систему СК – пневмоскелетон.

При включении такого режима система управления подаёт команду на наддув одной из трубок, проложенных в силовой оболочке СК, и компенсирует отклонение космонавта жесткостью “аэробалки”, при отключении системы возможны любые эволюции положений СК. При наддуве всех опорных трубок оператор может на время снять с себя вес СК для отдыха. Компенсирующие устройства могут располагаться и на подошвах, изменяя площадь эффективной опоры (ПО) соответственно двигательной задаче.

Энергетический дефицит при работе пневмоскелетона может быть устранён подключением к ресурсам мобильного модуля поддержки при необходимости проведения тяжелой работы или длительных переходов, что существенно повысит эффективность работы.

Статический и динамический показатели устойчивости применимы в качестве критериев рабочего позиционирования для оценки положения тела человека в СК, в фиксированных граничных положениях СК. Параметры α и $K_{уст}$ в сочетании с $M_{уст}$ и $M_{опр}$, которые возможно получить с помощью датчиков, могут применяться в автоматическом контуре управления СК, снабжённого системой управления и различными группами “пневмомышц”.

При перемещениях по наклонным поверхностям снаряжение, подобное альпинистскому, может увеличить **зону сохранения положения** за счёт изменения типа связи с опорой (от неудерживающего на удерживающий).

Опираясь на кинограммы, полученные в результате полунатурного моделирования на самолёте лаборатории для условий земной гравитации ($g = 1$) и невесомости ($g = 0$), автором выполнена геометрическая экстраполяция для марсианской гравитации ($g = 0,38$), базовые схемы представлены на рис. 4. Результаты миограммы по характеру изменения биоэлектрической активности, позволяют сделать вывод о возрастании нагрузки на мышцы ног при отрыве пятки в условиях невесомости. При отсутствии жесткого закрепления ног, отмечено возрастание нагрузки и на мышцы рук. Биомеханическая схема тела испытателя при работе в СК (рис.5) подтверждает возможное возникновение ситуаций на поверхности Марса, когда возникает необходимость закрепления не только носка ботинок скафандра, но и пятки. Эта мера будет препятствовать возникновению дополнительных мышечных усилий.

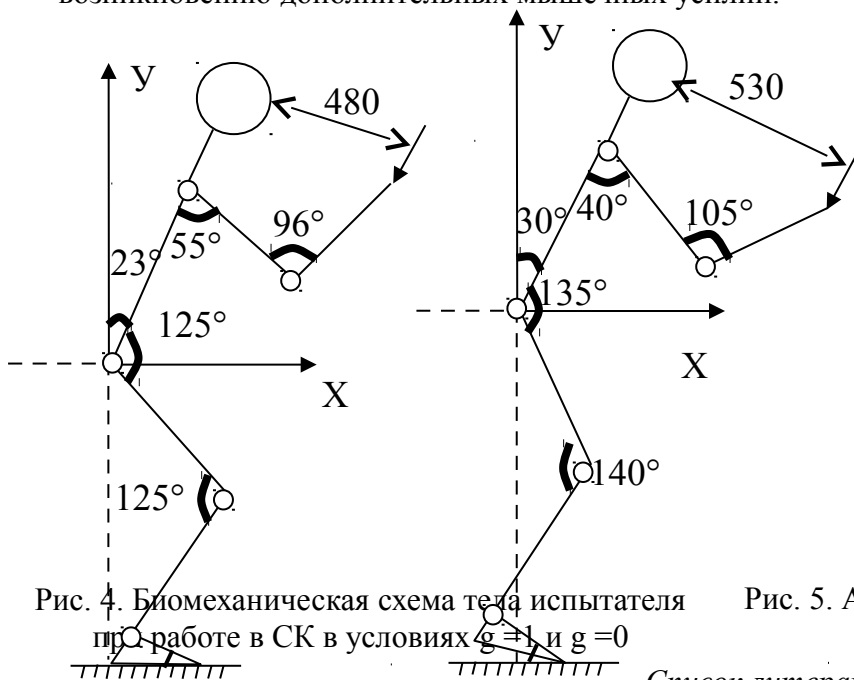


Рис. 4. Биомеханическая схема тела испытателя при работе в СК в условиях $g = 1$ и $g = 0$

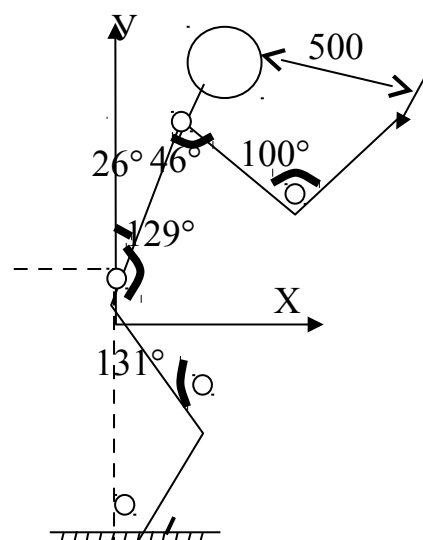


Рис. 5. Аппроксимированная биомеханическая схема в условиях $g = 0,38$

Список литературы

1. Бабкин А.Н., Полещук А.Ф., Цыганков О.С. Технологические задачи и организация труда десантной группы экипажа на поверхности Марса // К.Э. Циолковский и проблемы развития науки и техники // Материалы XXXIX научных чтений памяти К.Э. Циолковского/ Калуга, 2004.- с.189-190.
2. Донской Д.Д., Зациорский В.М. Биомеханика // Учебник для ин-тов ф.к.- М.: Физкультура и спорт, 1979.- 264 с.
3. Цыганков О.С. Десант на Марс // Полёт.- 2004, №4.- с.7-16.

Сведения об авторе

Бабкин Андрей Николаевич, аспирант кафедры системного анализа и управления Московского авиационного института (государственного технического университета).