

УДК 629.7.048

Расширение возможностей АПКОЭС в процессе проведения 520-ти суточного эксперимента по программе «МАРС-500»

Камалетдинова Г.Р., Хабаровский Н.Н., Курмазенко Э.А., Кочетков А.А.

Аннотация

Одной из основных проблем, которые ограничивают выполнение межпланетных полетов, является гарантирование надежности функционирования бортовых систем при длительном автономном полете, а также их безопасность. Данная проблема не до конца изучена, поэтому требуется получить ответы на серию новых вопросов, которые отличают межпланетную экспедицию от орбитального полета сопоставимой продолжительности (1.5 – 2 года).

Главная цель проекта «МАРС-500» – изучение системы “человек – окружающая среда” в условиях длительной изоляции и во время моделирования главных особенностей Марсианского полета (большая длительность и автономия пилотируемого, изменение условий коммуникации с Землей – ограничения по скорости передачи информации и потребляемым ресурсам).

Ключевые слова

системы жизнеобеспечения; длительный космический полет; имитационное моделирование; тренажеры систем; аппаратно-программный комплекс; нештатная ситуация.

Введение

Одной из основных проблем, которые ограничивают выполнение межпланетных полетов, является гарантирование надежности функционирования бортовых систем при длительном автономном полете, а также их безопасность. Данная проблема не до конца изучена, поэтому требуется получить ответы на серию новых вопросов, которые отличают межпланетную экспедицию от орбитального полета сопоставимой продолжительности (1.5 – 2 года).

Проект «МАРС-500» отвечает на часть этих вопросов и добавляет данные к биомедицинским исследованиям, проводимым на борту Международной космической станции. Главная цель проекта «МАРС-500» – изучение системы “человек – окружающая среда” и анализ научно-технической информации об окружающей среде, состоянии здоровья и работоспособности экипажа, в условиях длительной изоляции и во время моделирования главных особенностей Марсианского полета (большая длительность и автономия пилотируемого, изменение условий коммуникации с Землей – ограничения по скорости передачи информации и потребляемым ресурсам).

Одними из основных целей проекта являются определение возможностей осуществления подобного полета с точки зрения психологии и физиологии и формирование требований для реального экспедиционного космического корабля, а также этапам подготовки экипажа к этому полету.

1. ПРОЕКТ “МАРС 500”

Проект включает три стадии проведения экспериментов:

- 14-суточная изоляция (окончена в ноябре 2007);
- 105-суточная изоляция (окончена в июле 2009);
- 520-суточная изоляция (начата в июне 2010).

Основная часть экспериментов проводится в наземном медико-техническом комплексе. Каждый герметичный модуль комплекса имеет специальное назначение (рисунок.1).

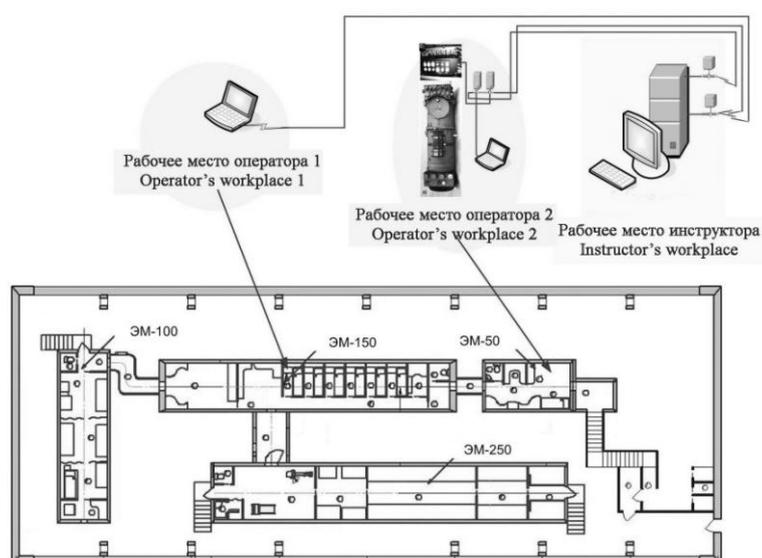


Рис. 1: Схема наземного медико-технического комплекса и расположение оборудования в модулях.

Жизнь и деятельность экипажа в течение эксперимента основана на самоорганизации и самоконтроле всех параметров жизни и деятельности экипажа, включая здоровье, психологическое состояние, работоспособность, состояния окружающей среды, работа оборудования и др., а также независимости принятия решений.

Режимы работы и отдыха фиксированы, но общий распорядок может видоизменяться в соответствии с нештатными ситуациями и другими особенностями длительного полета.

2. СТРУКТУРА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ОБСЛУЖИВАНИЯ ЭКИПАЖЕМ СИСТЕМ (АПКОЭС)

На первых этапах моделирования, аппаратно-программного комплекса обслуживания экипажем систем (АПКОЭС) отражал функционирование ограниченного количества систем. Развитие начиналось с проработки базовых моделей ЭКИПАЖ и КАБИНА. Далее состав комплекса расширился. На последних этапах присоединен макет-тренажер системы «Электрон-ВМ».

Существующая структура АПКОЭС включает:

- Виртуальные имитаторы отдельных систем частично замкнутого по кислороду и воде комплекса регенерационного систем жизнеобеспечения (РСЖО), основанного на физико-химических процессах регенерации продуктов метаболического обмена экипажа, и взаимодействующие с комплексом бортовые системы обеспечения теплового режима и энергообеспечения, а также электромеханический тренажер штатной системы генерации кислорода «Электрон-ВМ» (Рисунок 2).
- Головную программу, которая моделирует изменение параметров среды обитания экипажа.
- Подпрограмму, формирующую массо- и энерго- обмен экипажа со средой обитания.
- Подпрограмму, идентифицирующую нештатные ситуации и оценивающую эффективность действий оператора.
- Подпрограмму оценки психофизиологического состояния операторов перед, в процессе и после локализации НшС. [1, 2]

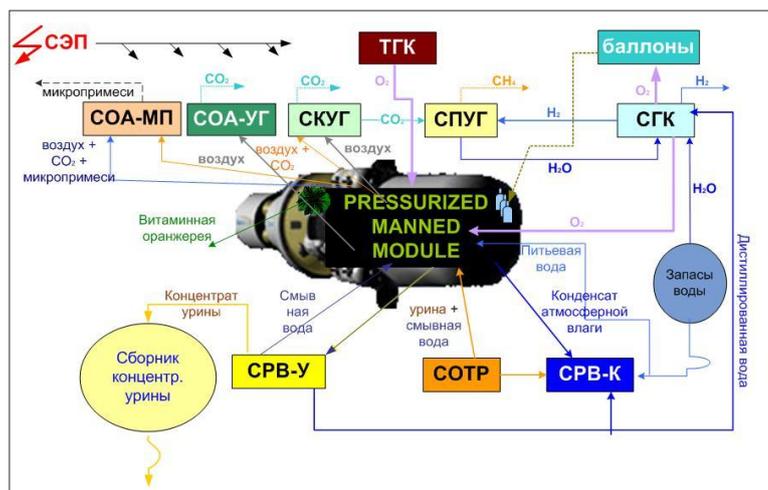


Рис. 2: Технологическая структура РСЖО

Каждая конкретная система взаимодействует посредством интерфейсов с другими системами и окружающей средой. Поэтому структура АПКОЭС включает виртуальные имитаторы РСЖО, имитатор системы «кабина», имитатор среды обитания с массо-энергетическим обменом, а также модели задания, локализации нештатных ситуаций (НшС) и оценки эффективности деятельности экипажа. Имеются два рабочих места для операторов. (см Рисунок 1).

III. ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ И ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

Среди методов прикладного системного анализа имитационное моделирование является, самым мощным инструментом исследования сложных систем, управление которыми связано с принятием решений в условиях неопределенности. По сравнению с другими методами такое моделирование позволяет рассматривать большее число альтернатив, улучшать качество управленческих решений и точнее прогнозировать их последствия.

Имитационное моделирование является экспериментальной и прикладной методологией, имеющей целью описать поведение систем, построить теории и гипотезы, которые могут объяснить наблюдаемое поведение, а также использовать эти данные для предсказания будущего поведения системы.

Для применения подхода имитационного моделирования необходимо, чтобы рассматриваемые модели:

- имели определенную структуру;
- были охарактеризованы подробным уровнем формализованных описаний для каждой подсистемы;

- отображали необходимые параметры на дисплее ПК. [3]

При формализации математических описаний принят уровень детализации в форме «агрегатов». Каждая система при этом описывается в виде, представленном на рисунке 3.

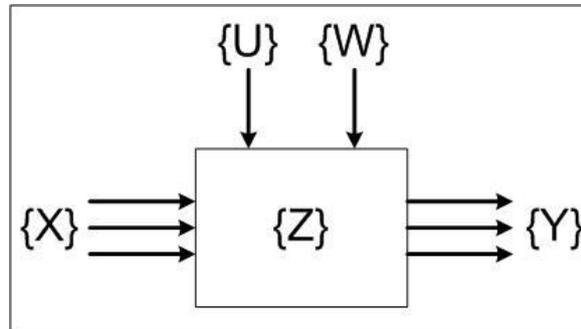


Рис. 3: Описание в виде агрегатов

- Множество $\{X\}$ – алфавит входных параметров состояния;
- Множество $\{Y\}$ – алфавит выходных параметров состояния;
- Множество $\{Z\}$ – алфавит внутренних параметров состояния;
- Множество $\{U\}$ – алфавит управляющих параметров состояния;
- Множество $\{W\}$ – алфавит внешних и внутренних возмущающих воздействий.

Алфавиты входных, выходных и управляющих параметров состояния соответствуют контролируемым параметрам моделируемых систем. Алфавит внешних возмущающих воздействий определяется изменяемыми во времени значениями контролируемых параметров среды обитания. Они изменяются вследствие функционирования отдельных систем и наличия экипажа как звена внешней (относительно моделируемых систем) среды, являющегося основным источником продуктов метаболизма, подлежащих преобразованиям в регенерационных системах СЖО и основным потребителем вырабатываемых системами компонентов среды обитания. Алфавит внутренних возмущающих воздействий определяется значениями контролируемых параметров моделируемой системы. Для формирования алфавита внутренних состояний принят подход, основанный на функциональном описании преобразования алфавита входных параметров состояния в алфавит выходных параметров. В качестве примера ниже рассмотрен переход к формализованному описанию системы генерации кислорода (СГК) (Рисунок 4).

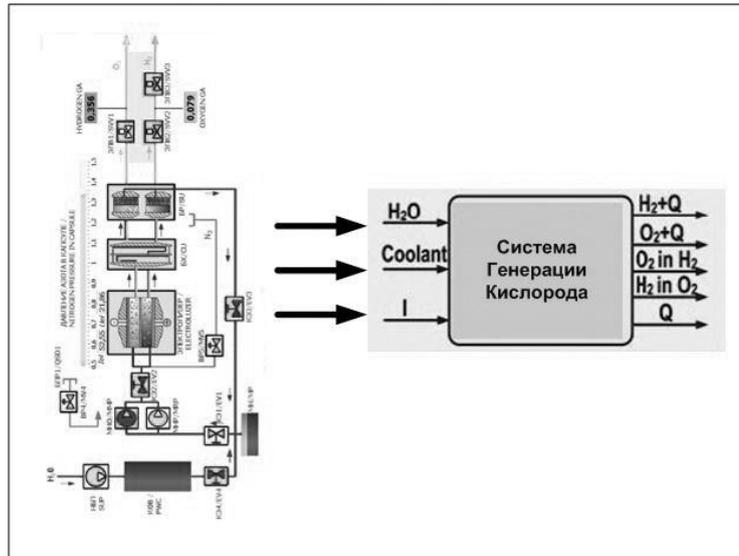


Рис.4. Представление системы генерации кислорода в форме агрегата

Результаты анализа существующих функциональных описаний СГК показывают, что при формализации алфавита внутренних состояний могут быть приняты следующие основные допущения:

- теплофизические параметры газовых смесей электролита и хладоносителя в расчетном диапазоне температур не зависят от температуры;
- вследствие малого времени переходного процесса по току массовые потоки кислорода, водорода в кислороде, водорода, кислорода в водороде и водяных паров описываются алгебраическими уравнениями;
- основным источником кислорода в потоке водорода и водорода в потоке кислорода являются коллекторы подвода электролита, в которых протекает неуправляемый процесс электролиза воды.

Учитывая приведенные допущения, формализованное описание СГК может быть представлено в виде:

$$I_{el}^{\tau} = I \frac{R_{col}^{\tau}}{R_{col}^{\tau} + R_{el}^{\tau}}; \quad (1)$$

$$U^{\tau} = n \left(e_{an}^o + e_{кат}^o + a_{ан} + a_{кат} + 0,001(b_{ан} + b_{кат}) \frac{I_{el}^{\tau}}{S_{яч}} \right) + R_S^{\tau} I_{el}^{\tau}; \quad (2)$$

$$I_{col}^{\tau} = I - I_{el}^{\tau}; \quad (3)$$

$$G_{O_2(H_2)}^{\tau} = \frac{n}{2F} (2A_{O_2(H_2)} I_{el}^{\tau} + (A_{O_2} + A_{H_2}) I_{col}^{\tau}); \quad (4)$$

$$G_{H_2 \rightarrow O_2}^{\tau} = n \frac{A_{H_2(O_2)}}{2F}; \quad (5)$$

где A_{O_2} , A_{H_2} - химические эквиваленты кислорода и водорода; $a_{ан}$, $b_{ан}$, $a_{кат}$, $b_{кат}$ - константы Тафеля, соответственно для анода и катода; $e_{ан}^o$, $e_{кат}^o$ - теоретические потенциалы анода и катода; F - постоянная Фарадея; $G_{O_2(H_2)}^{\tau}$ - массовый расход выделяемого газа в кислородной (водородной) полостях электролизера; $G_{O_2 \rightarrow H_2(H_2 \rightarrow O_2)}^{\tau}$ - массовый расход кислорода, выделившегося в водородной полости (водорода, выделившегося в кислородной полости); I_{el}^{τ} - ток, проходящий через электролизную ячейку; I_{col}^{τ} - ток, проходящий через коллектор; I - ток питания электролизера; R_{col}^{τ} , R_{el}^{τ} - электрические сопротивления коллектора и ячеек электролизера; $S_{яч}$ - площадь электролизной ячейки; U^{\square} - напряжение электролизера.

Средняя температура T_{el} электролизера в зависимости от тока питания I определяется из регрессионной зависимости вида

$$T_{el} = f_1(T_{cool}) \left(-0.3305 + 0.0034I_{el}^2 + 2.085I_{el}^{0.5} + 21.29/I_{el}^{0.5} \right); \quad (6)$$

полученной на основе обработки вычислительных экспериментов, проведенных на детализированной модели СГК.

Влагосодержание выходящего из разделителя водорода (кислорода):

$$d_{H_2(O_2)}^{\tau} = \frac{(27,6 + 0,23(T_{sep}^{\tau} - 273)^{1,5})^2}{m_{sep}} \cdot \frac{\mu_{H_2O}}{\mu_{H_2(O_2)}}; \quad (7)$$

где: $\mu_{H_2(O_2)}$, μ_{H_2O} - молярные массы водорода (кислорода) и воды, а температура выходящих из разделителя массовых потоков водорода и кислорода описываются регрессионной зависимостью вида

$$T_{sep} = (-15,387 + 0,249I_{el} + 173,183/I_{el}^{0,5} - 319,898/I_{el}) f_2(T_{cool}); \quad (8)$$

Температурные функции, входящие в зависимости (6) и (8) определяются как

$$f_1(T_{cool}) = \frac{1}{T_{el}} \left(1 + 0,82(T_{xl} - 273) + 0,03(T_{xl} - 273)^2 \right); \quad (9)$$

$$f_2(T_{cool}) = \frac{1}{T_{sep}} (1 + 0,9(T_{cool} - 273)); \quad (10)$$

Аналогичный подход к формированию формализованных математических описаний функционирования системы применен и для других регенерационных систем СЖО.

При составлении функционального описания искусственной газовой атмосферы (ИГА) герметичного модуля приняты следующие основные допущения:

- Обитаемый герметичный модуль рассматривается как “открытая” термодинамическая система с сосредоточенными параметрами;
- Искусственная газовая атмосфера рассматривается как смесь идеальных газов, теплоемкость которой определяется ее химическим составом и не зависит от температуры;
- микропримеси ввиду их малого содержания не оказывают существенного влияния на формирование общего давления в герметичном модуле и теплофизические свойства искусственной газовой атмосферы.

С учетом принятых допущений, уравнения материальных балансов для основных компонентов ИГА и микропримесей могут быть записаны в виде:

$$M_i(\tau) = M_i(\tau_0) + \sum_{j=1}^{j=n} (\pm G_{ij} \Delta \tau); \quad (11)$$

$$M_a(\tau) = \sum_{j=1}^{j=4} M_a(\tau); \quad (12)$$

$$M_{TCr}(\tau) = M_{TCr}(\tau_0) \pm \sum_{k=1}^{k=s} G_{TCrk} \Delta \tau; \quad (13)$$

$$U(\tau) = U(\tau_0) \pm \sum_{j=1}^{j=n} c_{pi} G_{ij} \tau \pm \sum_{m=1}^{m=s} q_m \Delta \tau; \quad (14)$$

В уравнениях приняты следующие обозначения: $M_i(\tau), M_i(\tau_0), M_{TCr}(\tau), M_{TCr}(\tau_0), U(\tau), U(\tau_0)$ - массы основных компонентов, массы i -х микропримесей и внутренние энергии ИГА в начале и в конце промежутка времени, соответственно; $G_{ij}(\tau), G_{TCrk}(\tau)$ - массовые расходы основных компонентов ИГА и i -х микропримесей, поступающих и выходящих из контрольного объема; q_m - потоки теплоты, вносимой и покидающей контрольный объем с потоками массы компонентов ИГА и теплопроводностью через обшивку; C_{pi} - удельная теплоёмкость i -й компоненты; $\tau_0, \tau, \Delta \tau$ - предыдущее, текущее время и шаг интегрирования.

При решении уравнений используется состав микропримесей, наиболее характерный для обитаемых герметичных модулей космических кораблей: спирты, альдегиды, кетоны, предельные углеводороды, ароматические углеводороды, ацетоны, азотные соединения, кислоты и неорганические соединения.

Текущие значения массовых расходов основных компонентов ИГА и i -х микропримесей, поступающих и выходящих из контрольного объема, потоки теплоты,

вносимой и покидающей контрольный объем с потоками массы компонентов ИГА и теплопроводностью через обшивку определяются на каждом шаге интегрирования выходными значениями имитационных моделей регенерационных систем жизнеобеспечения и обеспечения терморегулирования.

При формировании математического описания звена «ЭКИПАЖ» приняты следующие основные допущения:

- Отдельный член экипажа рассматривается как функциональная система с взаимосвязанной структурой, преобразующая входные потоки массы и энергии в выходные потоки массы, теплоты и работы.
- Энергозатраты космонавта на выполнение отдельных видов работ сбалансированы с калорийной ценностью рационов питания и интегральной величиной энергозатрат в рассматриваемый период времени.
- Интенсивность поступления питьевой воды в организм человека в период приема пищи – равномерная.
- Основным фактором, определяющим характер воздействия экипажа на массовые потоки, является характер деятельности на борту космического корабля (виды, последовательность, и время проведения работ, предусмотренных программой полета.
- Для описания массовых и тепловых потоков, потребляемых и выделяемых звеном «ЭКИПАЖ» применяется международная модель «условного человека», в соответствии с которой интенсивности массовых и тепловых потоков принимаются пропорциональными энергозатратам.

Исходными данными для формирования математического описания звена «ЭКИПАЖ» являются циклограммы режимов труда и отдыха (РТО), определенные для каждого члена экипажа. Пример циклограммы РТО «типичные сутки» приведен на рисунке 5

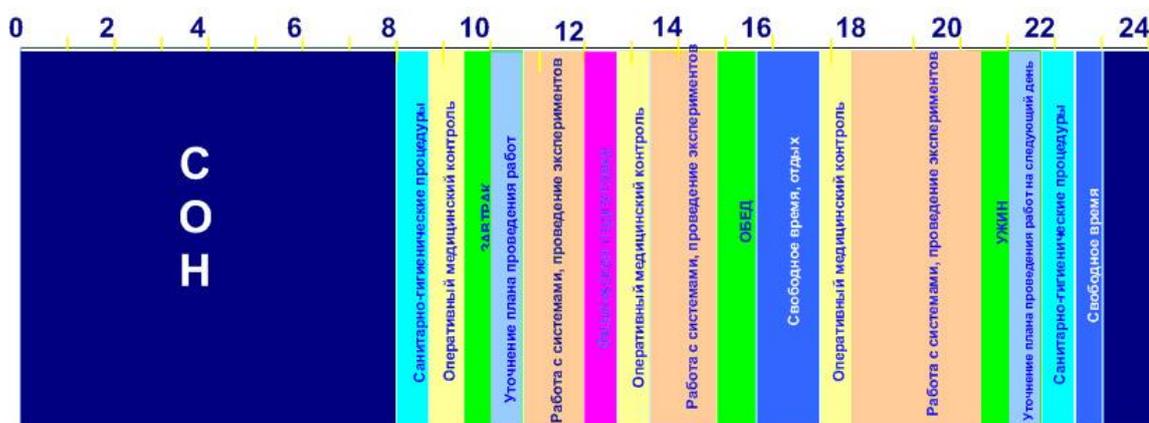


Рис.5. Типовая циклограмма РТО «типичные сутки».

Зависимость потребления кислорода (G_{O_2} , г/ч) от энергозатрат N

$$G_{O_2} = a_0 N; \quad (15)$$

в которой коэффициент a_0 изменяется в пределах $0,28 \pm 0,31$ г/ккал.

Зависимость выделения углекислого газа (G_{CO_2} , г/ч) от энергозатрат определяется зависимостью

$$G_{CO_2} = a_0 K_r N; \quad (16)$$

в которой величина респираторного коэффициента K_r определяется из эмпирической зависимости

$$K_r = -0.801 + 0.0142 \exp(-96,432 / A); \quad (17)$$

Зависимость потерь влаги в результате перспирации и респирации (J , г/ч) от энергозатрат N определяется по зависимости

$$J = 91,7 - 0,191N; \quad (18)$$

Зависимость выхода мочи от энергозатрат (U , г/ч) от энергозатрат N описывается как

$$U = 0,19N; \quad (19)$$

Вышеприведенные зависимости совместно с циклограммами РТО для каждого члена экипажа определяют величины внешних возмущающих воздействий со стороны звена «ЭКИПАЖ» на функционирование регенерационных систем СЖО. [4, 5, 6]

Необходимо отметить, что атмосфера – это компонент взаимодействия экипажа и окружающей среды, играющей существенную роль в массоэнергетическом обмене. С другой стороны атмосфера играет роль амортизатора, сглаживающего действие волнения, прибывающее от окружающей среды, команды и регулярных бортовых систем. Значения параметров среды зависят от деятельности команды и функционирования оборудования систем жизнеобеспечения. Параметры атмосферы контролируются экипажем при полете и являются одним из критериев теста оценки деятельности команды и систем.

"Экипаж" – часть окружающей среды, определяющей цель создания эколотехнической системы межпланетного космического корабля, биомедицинские, физиологические и технические требования, чтобы отделить бортовые системы, и окружающую среду. Он же является основным источником обработанных продуктов

метаболизма и основным потребителем развитых компонентов проживания, а также источником внешних возмущающих воздействий при функционировании отдельных систем.

Базируясь на всем этом, разработан программный комплекс, основанный на клиент-серверной технологии обработки и передачи данных.

Серверная часть содержит расчетные модули моделей кабины, экипажа, моделей отдельных систем, модуль формирования нештатных ситуаций, модуль голосового оповещения экипажа, модуль оценки действий экипажа и модуль протокола; обеспечивает передачу данных, а также получение управляющих команд от клиентской части для корректировки работы отдельных систем.

Клиентская часть обеспечивает отображение получаемых от серверной части данных, формирование управляющих сигналов и их передачу серверной части.

При программной реализации, комплекс имеет иерархическую структуру.

Имитационная модель «Кабина» является основой АПКОЭС обеспечивающей интеграцию виртуальных имитаторов функционирования отдельных систем в единое целое и мониторинг контролируемых параметров среды обитания экипажа. Для индикации наряду с численными значениями параметров, приведены цветовые индикаторы, плавно меняющие цвет при колебании параметра (рисунок 6).

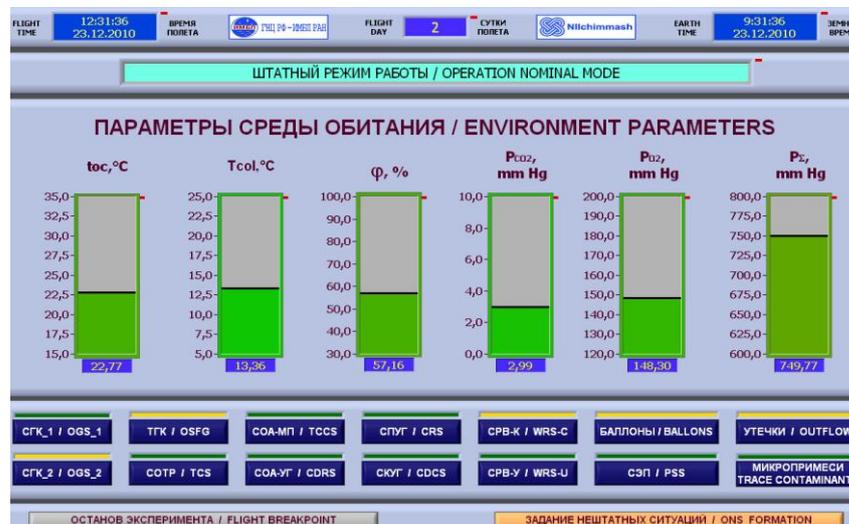


Рис. 6: Лицевая панель «Кабина»

Имитационная модель «Экипаж» моделирует массоэнергетический обмен экипажа со средой обитания, результаты которого необходимы для согласования работы виртуальных имитаторов отдельных систем в составе РСЖО с потребностями экипажа как нагрузочного звена, являющегося источником возмущающих воздействий. Взаимодействие подпрограмм осуществляется через подпрограммы, моделирующие энергозатраты дневной и ночной смены

в зависимости от циклограмм режимов труда и отдыха и взаимосвязь изменения массовых балансов элементов системы. [7,8]

Экспериментальная верификация имитационной модели «Экипаж» проводилась на основе сопоставления результатов вычислительных экспериментов с опубликованными нормативными данными. [9]

При программной реализации виртуальных имитаторов отдельных систем учтены особенности их функционирования, predetermined технологическими процессами, на которых основана система, и принципами их построения. Отражается структура, логика взаимодействия и временные регламенты технического обслуживания аппаратов и блоков реальной системы. При этом сохраняется объем информации в соответствии с функционированием штатной системы на борту МКС.

Группа систем обеспечения газового состава и система обеспечения теплового режима спроектированы таким образом, что не требуют замены отдельных элементов при длительном функционировании. Для элементов, отказ которых может вызвать нештатную ситуацию, предусмотрено «холодное» или «горячее» резервирование. Возможные нештатные ситуации отражаются в строке состояния системы красной надписью и специальным звуковым сигналом. Оператор при этом должен перейти на контрольную панель программы с помощью нажатия соответствующей клавиши и выполнить операции по локализации НшС.

Полный электромеханический макет системы «Электрон-ВМ» повторяет реальную систему, находящуюся на борту МКС, но для уменьшения стоимости оборудования и безопасности работы в тренажере отсутствуют физико-химические процессы.

Вместо реальных процессов используются имитационные модели, такие как модель электролиза и технологических подсистем. Реализована возможность ввода отказов. Использование этого тренажера позволяет экипажу отработать порядка 40 НшС (в том числе с ручными операциями).

4. ЦЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЯ И РЕШЕНИЯ

Длительное влияние космического полета на интеллектуальные функции имеет первостепенное значение, как при проведении эксперимента, так и при дальнейшем полете. Работа с АПКОЭС в эксперименте, проводимом в наземных условиях, направлена на оценку операторской деятельности и психологических состояний (внимания, бдительности, восприятия, памяти, обучения, мышления). В сочетании с регистрацией физиологических

показателей реактивности и состояния центральной нервной системы и вегетативной нервной системы получается общая картина состояния участников эксперимента.

Для достижения данной цели решены следующие проблемы:

- Проведение оценки достаточности контролируемых параметров для анализа функционирования и обслуживания систем на основе использования комплекса в целом в условиях длительного автономного полета;
- Проведение оценки эффективности деятельности оператора по локализации нештатных ситуаций (НшС), возникающих при функционировании системы и / или отклонения контролируемых параметров среды от заданных значений;
- Проведение оценка эффективности принятия независимых решений по локализации НшС членами экипажа;
- Проведение оценки эффективности способов отображения информации о значениях контролируемых параметров среды, анализа функционирования и обслуживания систем с использованием виртуальных тренажеров систем;
- Проведение оценки влияния локализации НшС на психическое и физиологическое состояние членов экипажа в условиях длительного автономного полета.

На оценку эффективности действий экипажа влияет не только сложность поставленной задачи, но и скорость её решения, внимательность при работе, независимость в принятии решений, общий объем проведенных работ, включая мониторинг функционирования систем и качество проведения технического обслуживания. Учитывается влияние стресса и наличие отвлекающих факторов, а также групповая динамика работ. [10]

5. ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ АПКОЭС

В период с 15 по 29 ноября 2007 г. АПКОЭС прошел испытания при проведении первого эксперимента с испытателями по проекту «Марс-500». На этом этапе показана как отличная работоспособность комплекса и адекватность результатов, так и возможность его дальнейшего использования. Верификация основана на алгоритмах оценки на противоречие результатов компьютерного моделирования, баланса и эргономики (рисунок 7).

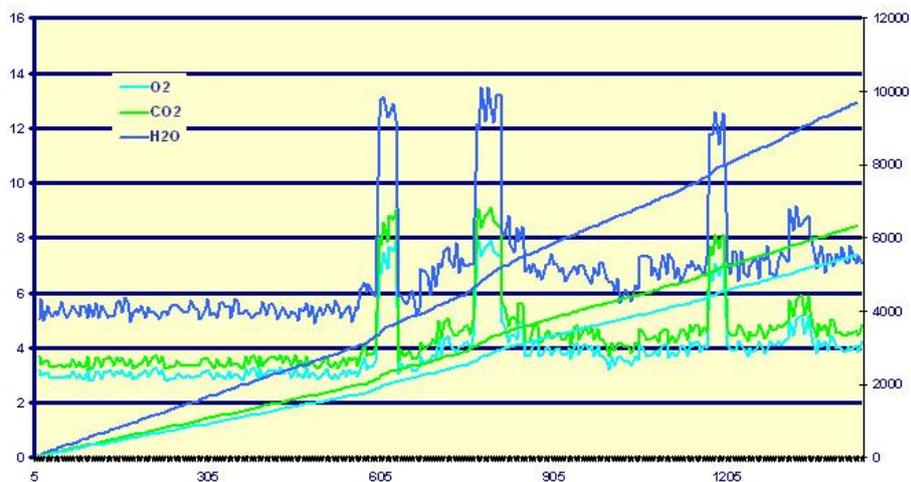


Рис. 7: Верификация данных по основным компонентам (скорость (г/мин), время (мин), масса (г))

Следующий этап эксперимента окончен в июле 2009. На нем введены дополнительные НшС для увеличения занятости экипажа, например, связанные с изменениями среды обитания. Также подключен тренажер системы «Электрон-ВМ» (рисунок 8).



Рис. 8: Тренажер системы «ЭЛЕКТРОН-ВМ»

Поведение систем при НшС приведены на рисунке 9.

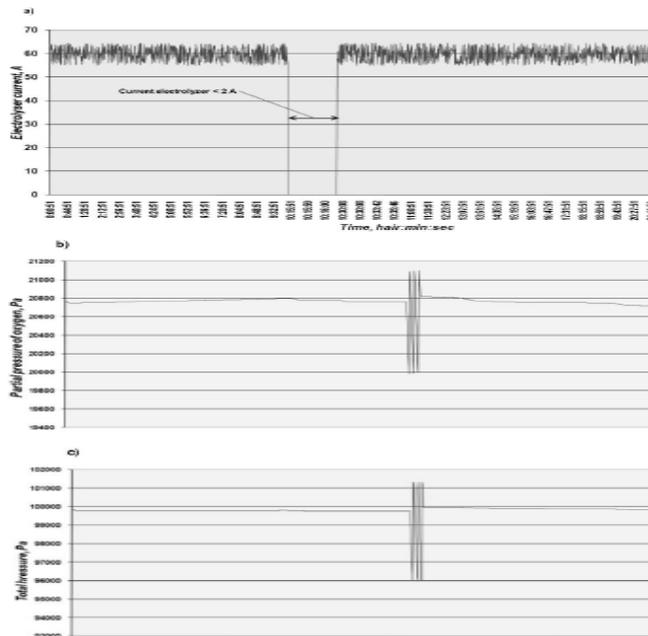


Рис. 9: Поведение системы в процессе устранения НшС ‘ток электролизера < 2 А’
 (устранено оператором 1002):
 а) Изменения тока электролизера;
 в) Изменение парциального давления кислорода;
 с) Изменение общего давления.

Заданные НшС, время их локализации и результаты работы операторов по устранению НшС приведены на рисунке 10.

CREWMEMBER	ESTIMATIONS of the CREWMEMBER ACTION EFFICIENCY																		
	IN TOTAL ONS LOCALIZATION			TOTAL OF DIFFICULT TASKS FROM ITS SOLVED			TOTAL OF AVERAGE COMPLEXITY FROM ITS SOLVED			TOTAL OF SIMPLE TASKS FROM ITS SOLVED			ANALYSIS OF SYSTEM OPERATION	USE of the ONBOARD INSTRUCTION or INDEPENDENT ACTIONS	ONBOARD INSTRUCTION CORRECTION	USE of the EXTERNAL HELP or INDEPENDENT ACTIONS	ATTENTIVENESS under ACTIONS	REACTION under ACTIONS	AVERAGE TIME for LOCALIZATION ONS of AVERAGE COMPLEXITY, min
1001	6	1	0	4	4	1	1	1	0	2	0	2	2,5	1	4	1			
1002	11	2	1	8	8	1	1	1	1	2	1	2	2	1	5,5	3			
1003	10	1	0	7	7	2	2	0	1	0	1	1	1,5	1	5,6	5			
1004	11	1	0	7	7	3	3	0	1	0	1	1	2,5	1	4,3	2,3			
1005	5	0	0	5	5	0	0	0	1	0	1	1	1,5	1	4,6	0			
1006	11	0	0	7	7	4	4	0	1	0	1	1	2	1	5,1	3,8			

ONS LOCALIZED	TIME SPENT BY A CREWMEMBER ON ONS LOCALIZATION, min						TOTAL TIME, min	AVERAGE TIME, min
	1001	1002	1003	1004	1005	1006		
TCCS ONS:								
FAILURE of FAN			2		12		12	6,5
FAILURE of ELECTRO-HEATER		5	14		10	2	33	6,6
FAILURE of VALVE	2			5			7	3,5
CDRS ONS:								
FAILURE of FAN	2	4	2	7		3	17	2,8
FAILURE of VALVE			6	1		5	16	3,2
WRS-AC ONS:								
FAILURE of PUMP		4	11	5	5	8	33	4,7
OGS ONS:								
ONS 'CURRENT < 2A'	5	11					16	5,3
ONS 'PRESSURE in CAPSULE < NORM'			3				3	3
FAILURE of PUMP						2	2	2
FAILURE of VALVE								
ONS 'ELECTROLYZER TEMPERATURE>NORM'					4	8	12	6
TCS ONS:								
FAILURE of PUMP		11	8				19	6,3
FAILURE of FAN	2			4	5	3	11	2,8
FAILURE of VALVE	6		3			9	18	3,6

Рис. 10: Результаты экспериментов

105-суточная изоляция выявила некоторые проблемы, на основании которых, были сформулированы рекомендации для последующего эксперимента. В ходе 105-суточного

эксперимента было поставлено 52 задачи (в том числе работы с тренажером системы «Электрон-ВМ»). Из них 51 задача решена успешно. [11]

В данный момент, все части комплекса находятся в модулях и задействованы в 520-суточной изоляции. На этом этапе комплекс получил следующие изменения:

- Добавление систем (система регенерации воды из урины, система концентрирования и переработки углекислого газа, система заполнения баллонов). Это позволяет увеличить практическую ценность эксперимента, так как система приближается к замкнутой. Часть из этих систем не используется на борту МКС, но находится в разработке.
- Включение в комплекс специализированного оборудования для оперативного контроля пульса и давления.
- Налаживание постоянной подачи азота для тренажера «ЭЛЕКТРОН-ВМ». [12]

Для улучшенного анализа психофизиологического состояния экипажа используются медицинские тесты. Заинтересованность в более глубоком исследовании привела к внедрению в АПКОЭС на стадии 520-суточного эксперимента дополнительной медико-технической системы «Biomouse» (био-мышь), который позволяет оценить текущее психическое и физиологическое состояние, функциональные особенности человека, контролировать динамику состояния, выявить стресс и психическую напряженность. Осуществление этих возможностей основано на анализе изменения сердечного ритма и других параметров. Примеры тестов приведены на рисунке 11.

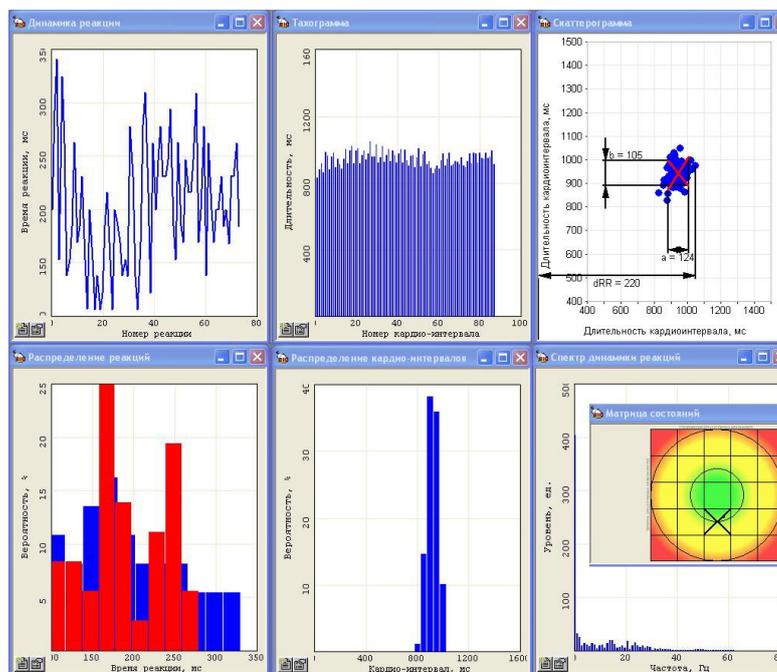


Рис. 11: Примеры результатов тестирования на комплексе «Biomouse»

6. ВЫВОДЫ

АПКОЭС, спроектированный по средствам имитационного моделирования, успешно отработал в ходе двух экспериментов и продолжает участие в проекте «МАРС-500».

Введение в АПКОЭС дополнительных систем в ходе подготовки 520-суточного эксперимента позволило увеличить его практическую ценность и сделать комплекс частично замкнутым.

Дополнение комплекса специализированным оборудованием для оперативного контроля пульса и давления позволило получить более полную картину работы экипажа.

Библиографический список

1. Kurmazenko, E.A., Samsonov, N.M., Gavrillov L.I. The concept of an Ecotechnical System and Its Application to the Synthesis of the Structure of Integrative Life Support System. SAE Techn. Paper Ser. #2002, 12 p.
2. Правецкий В.Н., Самсонов Н.М. Утямышев Р.И., Курмазенко Э.А. Некоторые проблемы создания систем обеспечения жизнедеятельности и безопасности экипажей летательных аппаратов // Научные чтения по авиации и космонавтике М: Наука, 1980, 219 с.
3. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем - искусство и наука. Под ред. Е.К. Масловского. М.: МИР, 1978, 420 с.
4. Kurmazenko, E.A., Samsonov, N.M., & etc. A Man-Made Gas Atmosphere Simulation Model of International Space Station's Russian Segment. SAE Techn. Paper Ser. #981718, 1998, 16 p.
5. Адамович Б.А., Горшенин В.А. Жизнь вне Земли. М.: РАУ-КОРПОРАЦИЯ, 1997, 591 с.
6. Курмазенко Э.А. Функциональный анализ систем жизнеобеспечения. Учебное пособие. М.: «НИИхиммаш», 1997, 60 с.
7. Курмазенко Э.А., Томашпольский М.Ю., Гаврилов Л.И., Хабаровский Н.Н., Докунин И.В., Камалетдинова Г.Р., Демин Е.П., Трямкин А.В. Виртуальные имитаторы регенерационных систем жизнеобеспечения для наземного эксперимента по программе автономного полета на Марс. 7-я Международная научно-практическая конференция «Пилотируемые полеты в Космос». Звездный городок, Московская область, РФ, 2007. Изд.: ЦПК, Королев, 2007, с. 220.
8. Камалетдинова Г.Р., Курмазенко Э.А., Гаврилов Л.И., Хабаровский Н.Н. Создание имитационной модели обслуживания экипажем регенерационных систем

жизнеобеспечения по программе автономного полета на Марс. 12-я Международная Научная Конференция «Системный анализ, управление и навигация». Евпатория, Крым, 2007. М.:МАИ, 2007, с. 68.

9. Проектирование и испытание систем обеспечения жизнедеятельности для космических станций. М.: ГОНТИ-4, 1974, 144 с.

10. Пилотируемая экспедиция на Марс. Под ред. Коротеева А.С. М.: Российская академия космонавтики им. К.Э.Циолковского, 2006, 320 с.

11. Камалетдинова Г.Р., Курмазенко Э.А., Гаврилов Л.И., Кочетков А.А., Хабаровский Н.Н., Сачков Р.Ю. Влияние конструктивных особенностей регенерационных систем жизнеобеспечения на эффективность обслуживания экипажем: предварительный анализ результатов 105-суточного эксперимента. 8-я Международная конференция «Авиация и Космонавтика», 2009, М.:МАИ, 2009, с. 107

12. Kamaletdinova, G. HARDWARE/SOFTWARE COMPLEX for CREW'S SERVICE of INTEGRATED LIFE SUPPORT SYSTEM OPERATION in LONG-TERM GROUND EXPERIMENT under MARS-500 PROJECT. 109 IAC-10.A1.6.3

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Алексей Анатольевич Кочетков. Главный конструктор ОАО «НИИхиммаш». Адрес: 127015, Москва, Большая Новодмитровская, 14. Телефон: (495) 685 49 74 e-mail: a_kochetkov@niichimmash.ru

Эдуард Александрович Курмазенко. Начальник лаборатории ОАО «НИИхиммаш». Профессор Московского Авиационного Института. Доктор технических наук, профессор. Адрес: 127015, Москва, Большая Новодмитровская, 14. Телефон: (495) 685 17 63 e-mail: e_kurmazenko@niichimmash.ru

Николай Николаевич Хабаровский. Начальник сектора ОАО «НИИхиммаш», кандидат технических наук. Адрес: 127015, Москва, Большая Новодмитровская, 14. Телефон: (495) 685 17 63 e-mail: nik.khaba@gmail.com

Гузель Ринатовна Камалетдинова. Инженер «НИИхиммаш»,. Адрес: 127015, Москва, Большая Новодмитровская, 14. Телефон: (495) 685 17 63 e-mail: guzel.kamaletdinova@spacegeneration.org