

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ В КОСМОС

THEORY AND PRACTICE OF HUMAN SPACE FLIGHTS

УДК 629.7.047.8

DOI 10.34131/MSF.20.1.33-46

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ КОСМОНАВТА В СКАФАНДРЕ ДЛЯ ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ «ОРЛАН-МКС». ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАЗЕМНОЙ ОТРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ ВЫХОДАХ В КОСМОС

Г.М. Глазов, С.С. Поздняков, С.Н. Филипенков, А.Д. Шибалов,
Г.В. Щавелев

Г.М. Глазов; С.С. Поздняков; канд. мед. наук С.Н. Филипенков;
А.Д. Шибалов; Г.В. Щавелев (АО «НПП «Звезда»)

Рассматривается практическое использование автоматической системы терморегулирования в скафандре «Орлан-МКС» как нового средства оптимизации качества терморегулирования теплового состояния космонавта. В статье представлены принципиальная схема, выбранный алгоритм регулирования, критерии и параметры регулирования, приведены некоторые результаты наземной отработки системы и первые результаты ее использования при «выходах» на Международной космической станции. Выполнено сравнение параметров терморегулирования при ручном и автоматическом методах регулирования на основании объективных данных телеметрической информации, приведена оценка космонавтами эффективности новой системы.

Ключевые слова: автоматическая система терморегулирования, скафандр, внекорабельная деятельность, энерготраты, теплосъем, тепловое состояние, костюм водяного охлаждения.

Automatic System to Control the Thermal Status of the “Orlan-ISS”-suited Cosmonaut. Main Results of Its Ground Perfection and Use for Spacewalks. G.M. Glazov, S.S. Pozdnyakov, S.N. Filipenkov, A.D. Shibalov, G.V. Shchhavelev

The paper reviews the practical use of the automatic system to control the temperature inside the “Orlan-ISS” spacesuit as a new instrument for optimizing the control of a cosmonaut’s thermal status. It also presents the principle scheme of the system, selected control algorithm, control criteria and parameters, some results of its ground perfection and initial results of the use during spacewalks. The temperature control parameters are compared for manual and automatic control

methods on the basis of real telemetric data; besides, performance evaluation of the new system by cosmonauts is given.

Keywords: automatic temperature control system, spacesuit, extravehicular activity, energy expenditure, heat removal, water-cooling garment.

Несмотря на многолетний опыт использования скафандров (СК) для внекорабельной деятельности (ВКД) типа «Орлан» с ручным регулированием температуры теплоносителя (воды) в костюме водяного охлаждения (КВО), имеющего определяющую роль в поддержании теплового состояния оператора, актуальным оставался вопрос повышения качества терморегулирования [1, 2]. При ручном регулировании существенное влияние имеет человеческий фактор, то есть, во время выполнения работ различной степени сложности оператор, субъективно не ощущая тепловых изменений, своевременно не переключает режим терморегулирования, что приводит к перегреву или переохлаждению. Кроме того, возможны ошибки оператора при переключении режимов терморегулирования вследствие его высокого эмоционального напряжения и рабочей загруженности при выполнении задач ВКД.

Постановка задач исследования. В скафандрах типа «Орлан», в которых использовалось ручное регулирование, было выполнено 146 парных ВКД. В значительном количестве ВКД специалистам Центра управления полетами (ЦУП) на основании объективных данных телеметрии приходилось оперативно выдавать рекомендации экипажу по корректировке величины теплосъема КВО для приведения его к уровню, адекватному текущим энерготратам и теплопродукции организма космонавтов, чтобы избежать существенного переохлаждения или перегрева. Тем не менее, например, при проведении ВКД-26 15.11.2010 г. Ф. Юрчихин и О. Скрипочка во время отдыха в «тени», несмотря на своевременные рекомендации ЦУПа, существенно переохладились и вынуждены были отключить насосы водяного контура охлаждения на 14 минут и 19 минут соответственно, для восстановления теплового баланса организма.

По мере накопления опыта внекорабельной деятельности, специалисты НПП «Звезда» пришли к выводу о целесообразности автоматизации управления системой терморегулирования с целью освобождения оператора от необходимости самостоятельного контроля температурного режима и предотвращения его переохлаждения или перегрева.

В 1980-х годах в НПП «Звезда» был проведен анализ полученных данных и начаты исследования для выбора критериев и параметров работы водяного контура охлаждения СК с целью разработки автоматической системы для поддержания термонеutralного состояния организма человека в скафандре [5, 6].

Обоснование способа регулирования. По результатам исследований, которые проходили в несколько этапов, были определены критерии, параметры и алгоритм регулирования, выбраны принципиальная схема (рис. 1),

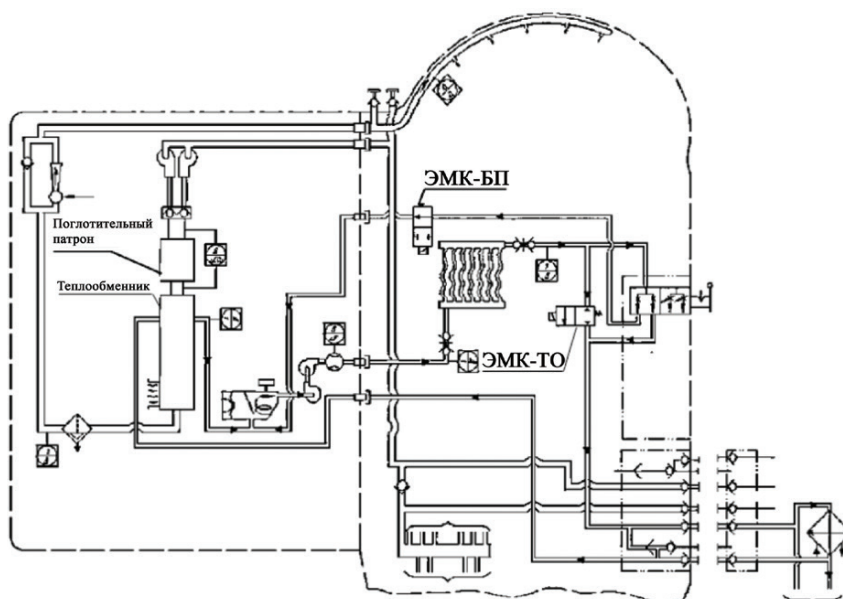


Рис. 1. Принципиальная схема АСТР СК «Орлан-МКС»

исполнительные агрегаты и разработан окончательный вариант автоматической системы терморегулирования (АСТР) для скафандра «Орлан-МКС» [3, 4]. Важное значение при разработке придавалось возможности использования для работы АСТР данных штатного измерительного комплекса скафандра (ΔCO_2 и $V_{\text{вент}}$), а также сохранению надежности контура водяного охлаждения СК. В окончательной схеме водяного контура охлаждения СК «Орлан-МКС» оставлена возможность перехода на ручное регулирование в любой момент ВКД. Для обеспечения индивидуальных предпочтений космонавтов, в алгоритме управления АСТР предусмотрена возможность оперативной (в любой момент ВКД) корректировки самим космонавтом температурного режима регулирования в сторону «холод» или «тепло» по их собственным теплоощущениям. Примененный способ автоматического терморегулирования заключается в регулировании температуры воды в костюме водяного охлаждения ($T_{\text{КВО}}$) в зависимости от текущих энергозатрат (ЭТ) оператора в следящем режиме управления системой. С помощью штатного измерительного комплекса скафандра контролируются разность концентрации углекислого газа на входе и выходе из поглотительного патрона (ΔCO_2) и расход вентиляции $V_{\text{вент}}$ в автономной системе обеспечения жизнедеятельности (АСОЖ) СК, снабженной контуром вентиляции и контуром водяного охлаждения (КВО). Основным регулируемым параметром в АСТР является температура воды на входе КВО ($T_{\text{вКВО}}$), изменяющаяся в пределах 5–30 °С при поддержании температуры газа внутри СК в диапазоне 5–20 °С. По результатам измерений автоматически рассчитываются текущие энергозатраты

оператора (ЭТ), величина которых в свою очередь используется для вычисления «комфортной» Трасч_{вхКВО} для текущего уровня ЭТ. После сравнения Трасч_{вхКВО} с фактической Т_{вхКВО}, в случае различия между ними больше 1 °С, АСТР выдает команду на включение исполнительных агрегатов. После достижения Т_{вхКВО} величины Трасч_{вхКВО} АСТР дает команду на отключение и продолжает работать в следящем режиме управления. Исполнительными агрегатами являются два электромагнитных клапана: в линии теплообменника нормально закрытый (ЭМК-ТО, рис.1) и в байпасной линии нормально открытый (ЭМК-БП, рис.1).

На завершающем этапе наземных стендовых испытаний АСТР с электромагнитными клапанами проведено 44 физиологических эксперимента продолжительностью 1,5–3,0 часа с участием 25 испытуемых, в том числе 4 специалистов РКК «Энергия» и 2 космонавтов, привлеченных в качестве экспертов, а также выполнены тренировки космонавтов в ТБК-50 по приобретению навыков работы с АСТР в условиях вакуума.

Методы оценки АСТР. Оценку качества регулирования осуществляли на основании непрерывного измерения температуры тела и влагопотерь организма с учетом отзывов добровольцев об общем и локальном тепловом состоянии организма по 7-балльной шкале. Кроме того, эффективность регулирования определялась объективным путем с помощью определения соответствия значений температур воды и теплосъема КВО уровню энерготрат и температуре тела (качество регулирования). Также контролировалась скорость достижения требуемой температуры на входе в костюм (Т_{вхКВО}) при увеличении/уменьшении энерготрат испытуемого (инерционность регулирования).

Текущие ЭТ определяли методом непрямой дыхательной калориметрии при среднем значении калорического эквивалента по темпу выделения CO₂ из организма, который вычисляется по поглощению CO₂ в патроне АСОЖ следующим образом:

$$\text{ЭТ}_{\text{тек}} = \frac{K_3}{R} * \Delta CO_2 * V_r, \quad (1)$$

где: K_3 – калорический коэффициент, т.е. количество энергии, образующейся при поглощении единицы объема кислорода, приведенного к нормальным условиям, равное в среднем 2×10^4 кДж/м³; R – дыхательный коэффициент, т.е. отношение объема, выделенного CO₂ к объему поглощенного O₂; в среднем $R = 0,83$; V_r – объемный расход вентилирующего газа (нормальные л/мин) системы вентиляции СК, ΔCO_2 – разность концентраций углекислого газа на входе/выходе поглотительного патрона (доли).

При измерении разности температуры жидкости ($dT_{\text{кво}}$) на входе и выходе КВО определяли теплосъем с тела испытуемого. При этом методом прямой калориметрии вычислялся теплосъем, осуществляемый КВО (ТС_{кво}):

$$T_{C_{KBVO}} = \sum_{i=1}^{n=1} C_{H_2O} * G_{H_2O} * (T_2 - T_1) * \Delta t_i, \quad (2)$$

где: C_{H_2O} – теплоемкость воды, G_{H_2O} – расход воды, $T_2 - T_1$ – разность температур жидкости на входе/выходе костюма водяного охлаждения, Δt_i – интервал времени.

Общий вид стенда для экспериментальной отработки АСТР представлен на рисунке 2.

Закон регулирования и возможности его корректировки представлены графиками на рисунке 3.



А

Б

Рис. 2. Общий вид экспериментального стенда
 А – подключение сублиматора скафандра к вакуумной камере;
 Б – работа испытателя на нагрузочном тренажере

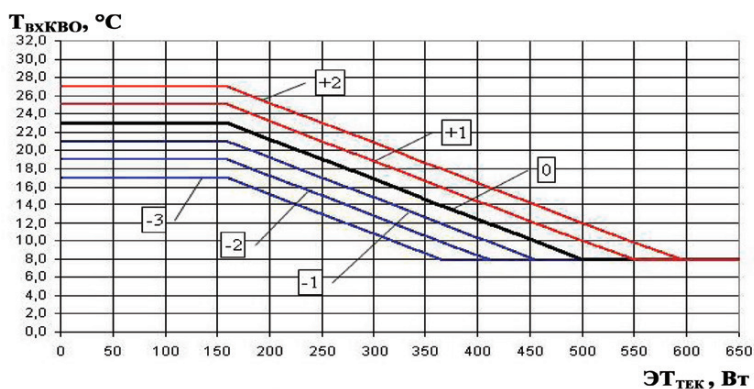


Рис. 3. Корректировка закона регулирования T_{BKBO} в зависимости от текущих ЭТ в сторону «тепла» функциями +1, +2 или «холода» функциями -1, -2, -3

Для обеспечения индивидуальных предпочтений космонавтов исследовались возможности оперативной корректировки закона регулирования непосредственно в процессе ВКД. Примеры исследованных вариантов корректировки представлены графиками на рисунке 3.

По результатам наземной отработки было определено, что смещение закона регулирования в сторону «тепло» или «холод» на 1–2 °С практически не ощущается человеком. Поэтому в АСТР скафандра «Орлан-МКС» реализована возможность корректировки с шагом сразу на 3 °С в сторону «тепло» или «холод». Значения Трасч для различных уровней энергозатрат были выбраны на основании большого количества экспериментальных данных, полученных при испытаниях скафандров семейства «Орлан» (около 1000 физиологических экспериментов). Окончательно значения Трасч были уточнены конкретно для модификации костюма КВО скафандра «Орлан-МКС» с учетом его возможностей по теплосъему.

На рисунке 4 приведен результат одного из экспериментов проведенного на завершающем этапе наземной отработки алгоритма АСТР. Как следует из графиков, представленных на рисунке 4, фактическая $T_{\text{вхКВО}}$ адекватно отслеживает значение $T_{\text{расч}}_{\text{вхКВО}}$ в зависимости от изменения уровня ЭТ испытуемого. Также видна зависимость частоты и длительности срабатывания клапана АСТР от величины ЭТ испытуемого.

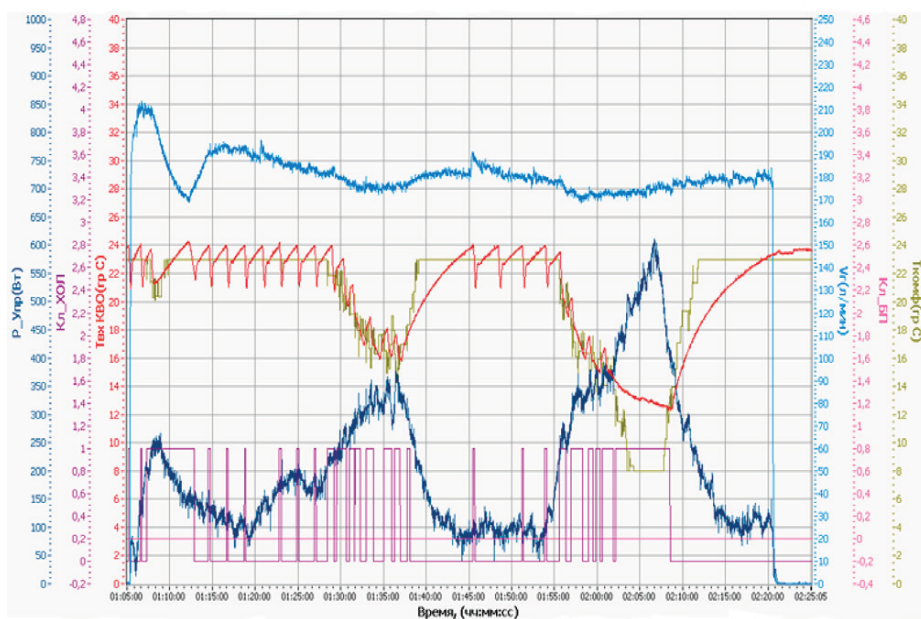


Рис. 4. Пример работы АСТР в эксперименте при наземной отработке, где $P_{\text{Упр}}$ – энергозатраты испытуемого, $T_{\text{комф}}$ – расчетная температура, $T_{\text{вхКВО}}$ – фактическая температура на входе КВО, $\text{Кл}_{\text{хол}}$ – частота и продолжительность срабатывания клапана АСТР в линии сублиматора

На заключительном этапе отработки АСТР в вакуумной камере ТБК-50, в т.ч. с участием космонавтов, использовались СК «Орлан-МКС» № 1 и № 2. Пульт управления электроагрегатами СК «Орлан-МКС» ПО-5М с новыми органами управления системой автоматического регулирования АСТР представлен на рисунке 5.

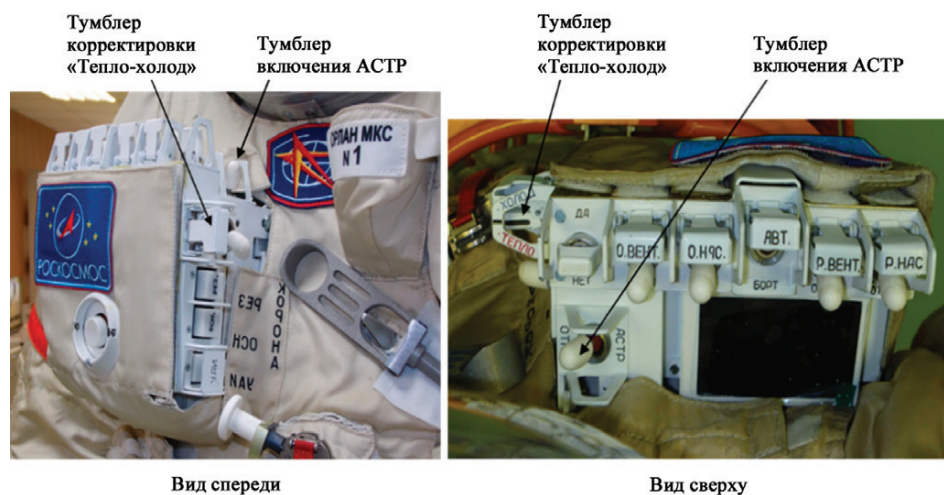


Рис. 5. Пульт управления электроагрегатами СК «Орлан-МКС» ПО-5М с новыми органами управления системой автоматического регулирования АСТР и новым дисплеем

Анализ результатов исследований. Рассмотрим результаты практического использования автоматической системы терморегулирования в скафандре «Орлан-МКС» при ВКД на Международной космической станции. В разделе проведен сравнительный анализ данных телеметрии параметров терморегулирования и температуры тела для ВКД, выполненных Ф. Юрчихиным, А. Мисуркиным и О. Артемьевым как в скафандре «Орлан-МК» с ручным регулированием (ВКД-26, -35, -39), так и в скафандре «Орлан-МКС» с использованием системы АСТР (ВКД-43, -44, -45).

На рисунке 6 приведено сравнение данных телеметрической информации (ТМИ) основных параметров терморегулирования при ВКД-26 и ВКД-43, выполненных Ф. Юрчихиным.

Как видно из графиков ТМИ по ВКД-26, Ф. Юрчихин длительное время (около 3 часов), несмотря на своевременные рекомендации ЦУПа, поддерживал достаточно низкие значения $T_{\text{вхКВО}}$ (5–6 °С), что привело к значительному охлаждению организма и снижению параметра заушной температуры тела TT_1 с 37 °С до 34 °С. Для восстановления теплового баланса на 4-м часу ВКД (06:00 на графике) Ф. Юрчихин был вынужден на 14 минут отключить насос контура водяного охлаждения. Диапазон изменения $T_{\text{вхКВО}}$ в процессе ВКД-26 составил от 22 °С до 5 °С. Как следует из графиков ТМИ

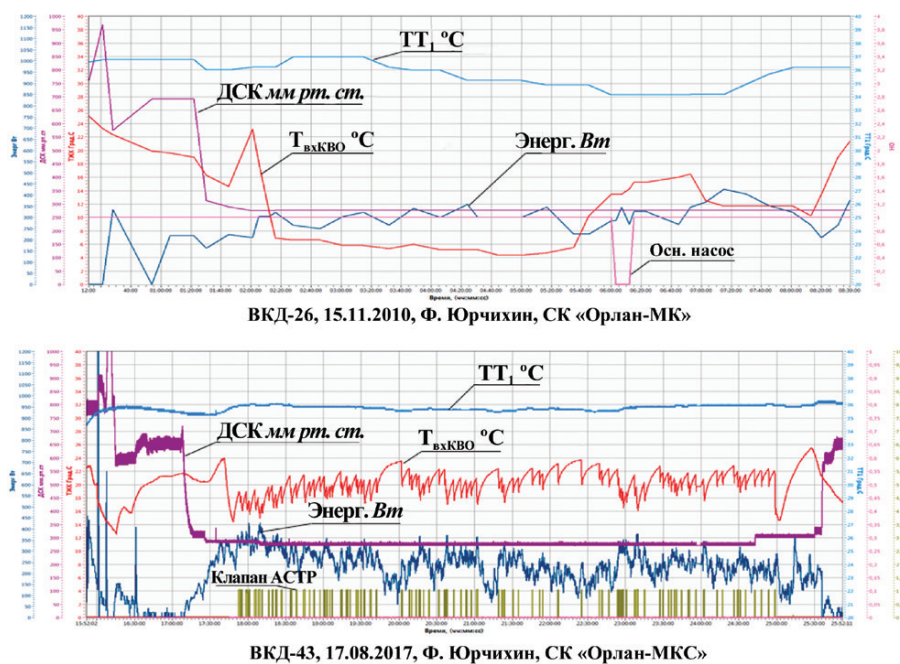


Рис. 6. Основные параметры терморегулирования при ВКД-26 и ВКД-43, выполненных Ф. Юрчихиным в СК «Орлан-МК» и «Орлан-МКС»

по ВКД-43 Ф. Юрчихина в СК «Орлан-МКС» с использованием АСТР, диапазон изменения $T_{\text{вквбо}}$ сузился и составил от 22 °C до 15 °C. Заушная температура тела TT_1 оставалась стабильной в течение ВКД и изменялась всего на 0,5 °C в интервале от 35,5 °C до 36,0 °C.

На графике ВКД-43 видно, что частота и продолжительность срабатывания клапана АСТР зависит от интенсивности физической нагрузки.

На рисунке 7 приведено еще одно сравнение данных телеметрии основных параметров терморегулирования при ВКД-35 и ВКД-43, выполненных Ф. Юрчихиным. Следует отметить, что ВКД-35 была третьей из серии ВКД, выполненных Ф. Юрчихиным и А. Мисуркиным в течение месяца. То есть, при проведении данной ВКД космонавты уже восстановили навыки ручного терморегулирования. Тем не менее, диапазон изменения $T_{\text{вквбо}}$ при ВКД-35 составил от 10 °C до 20 °C и также был шире, чем при использовании АСТР при ВКД-43 (от 22 °C до 15 °C). Диапазон изменения заушной температуры тела TT_1 при ручном регулировании в операции ВКД-35 составил 1,5 °C (TT_1 изменялась в интервале от 35 °C до 36,5 °C). За время ВКД-35, продолжительностью 6 часов, Ф. Юрчихин лишь два раза изменил положение ручного крана регулирования температуры в КВО. На графике ВКД-43 видно, что частота срабатывания клапана АСТР зависит от интенсивности физической нагрузки. Диапазон колебаний заушной температуры тела TT_1 при применении АСТР во время ВКД-43 сузился до 0,4 °C, и она

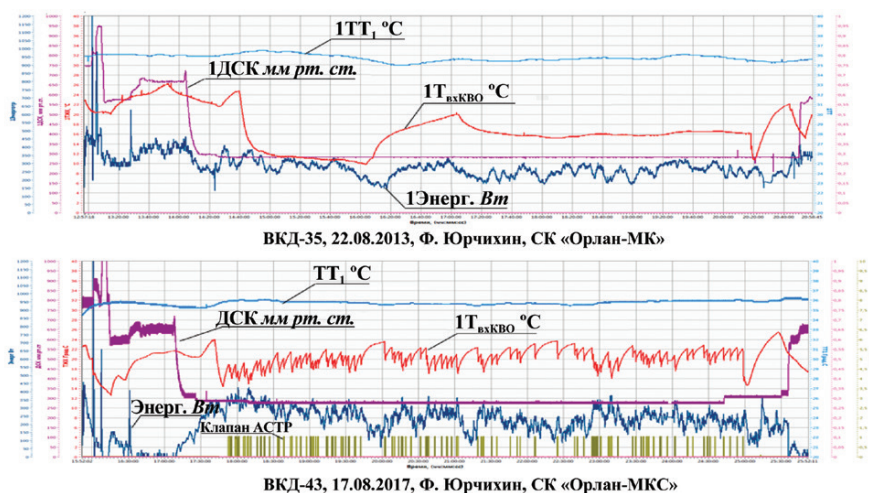


Рис. 7. Основные параметры терморегулирования при ВКД-35 и ВКД-43, выполненных Ф. Юрчихиным в СК «Орлан-МК» и «Орлан-МКС»

оставалась в интервале от 36,5 °C до 36,9 °C на протяжении всей операции за бортом станции, повысившись до 37,1 °C лишь при ручном терморегулировании от бортовой системы во время обратного шлюзования после завершения автономного периода ВКД-43.

На рисунке 8 приведено сравнение данных телеметрии основных параметров терморегулирования при ВКД-35 и ВКД-44, выполненных А. Мисуркиным в СК «Орлан-МК» и «Орлан-МКС».

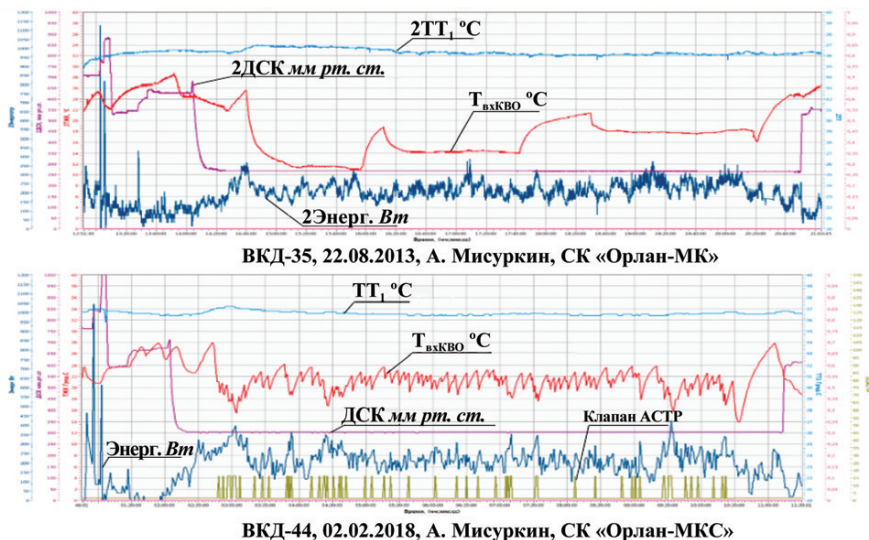


Рис. 8. Основные параметры терморегулирования при ВКД-35 и ВКД-44, выполненных А. Мисуркиным в СК «Орлан-МК» и «Орлан-МКС»

Диапазон изменения $T_{\text{вхКВО}}$ при ВКД-35 у А. Мисуркина составил от 11 °С до 22 °С и был шире, чем при использовании АСТР при ВКД-44 (от 16 °С до 24 °С). За время ВКД-35 продолжительностью 6 часов А. Мисуркин лишь 4 раза изменил положение ручного крана регулирования температуры в КВО.

Диапазон изменения заушной температуры тела TT_1 при ручном регулировании в операции ВКД-35 составил 1,0 °С (находилась в интервале от 36 °С до 37 °С). Заушная температура тела TT_1 при ВКД-44 через 1 час после включения АСТР снизилась с 37 °С до 36,5 °С и оставалась стабильной на данном уровне вплоть до конца ВКД. Таким образом, диапазон колебаний заушной температуры тела TT_1 сузился до 0,5 °С при ВКД-44.

На рисунке 9 приведено сравнение данных телеметрии основных параметров терморегулирования при ВКД-39 и ВКД-45, выполненных О. Артемьевым в СК «Орлан-МК» и «Орлан-МКС».

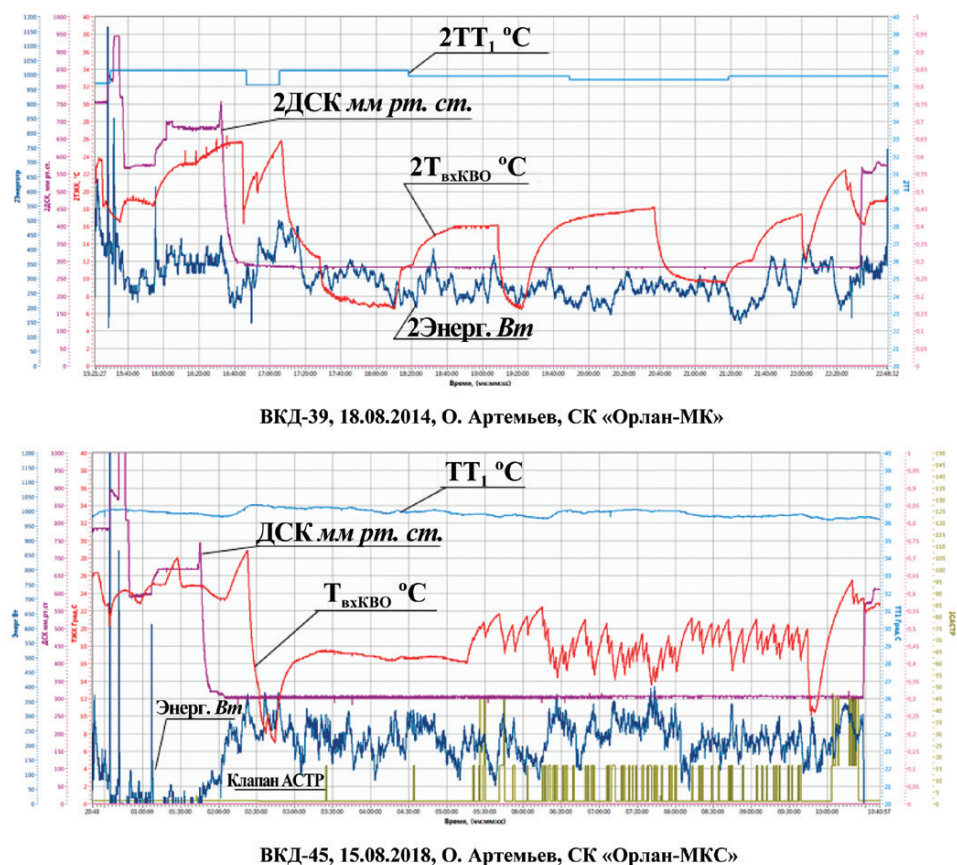


Рис. 9. Основные параметры терморегулирования при ВКД-39 и ВКД-45, выполненных О. Артемьевым в СК «Орлан-МК» и «Орлан-МКС»

Диапазон изменения $T_{\text{вхКВО}}$ при ВКД-39 у О. Артемьева составил от 7 °С до 18 °С и был шире, чем при использовании АСТР при ВКД-45 (от 14 °С до 22 °С). Диапазон изменения заушной температуры TT_1 при ВКД-39 составил от 36,5 °С до 37,0 °С. Заушная температура TT_1 при ВКД-45 изменялась в том же диапазоне, что и при ручном способе регулирования от 36,3 °С до 36,8 °С и оставалась стабильной. За время ВКД-39, продолжительностью 5 часов 10 минут, О. Артемьев 7 раз изменил положение ручного крана регулирования температуры в КВО, что свидетельствует о более внимательном отношении к своему тепловому состоянию. Что касается ВКД-45, то следует отметить некоторые особенности использования АСТР О. Артемьевым. Как следует из графика изменения $T_{\text{вхКВО}}$, в течение примерно 2,5 часа после начала ВКД-45 и включения АСТР, кран ручного регулирования вместо нужного положения «0» был установлен примерно в положение «3». В этом случае расход воды частично идет по контуру ручного регулирования и характер изменения $T_{\text{вхКВО}}$ похож на ручное регулирование. О том, что АСТР была включена, свидетельствуют 2 кратковременных включения клапана АСТР, не повлиявших на характер кривой $T_{\text{вхКВО}}$. Затем, по рекомендации ЦУПа, О. Артемьев проверил положение крана ручного регулирования и поставил его в положение «0», после чего АСТР перешла в штатный режим работы. Еще одной особенностью было то, что при сушке сублиматора в конце ВКД, система АСТР не была отключена, как положено по инструкции, о чем свидетельствует срабатывание обоих клапанов АСТР. На сушку сублиматора это влияния не оказало.

На рисунке 10 приведены параметры терморегулирования при ВКД-46 29.05.2019 г., выполненного А. Овчининим в СК «Орлан-МКС», не имевшего до этого опыта ВКД.

На графиках показано, что в начале ВКД-46 А. Овчинин использовал ручное регулирование, т.к. по его докладу он нагрелся в период от отстыковки от бортового охлаждения до включения сублиматора скафандра и хотел ускоренно охладиться. По причине отсутствия водяного охлаждения в течение 25 минут, с момента отстыковки от борта до открытия выходного люка и запуска теплообменника-сублиматора, заушная температура тела у него объективно повысилась на градус с 36,8 °С до 37,8 °С. За время использования ручного регулирования $T_{\text{вхКВО}}$ снизилась с 29 °С до 14 °С, а заушная температура тела быстро снизилась до 37,4 °С. Затем (примерно через 30 минут) он включил АСТР и до конца ВКД использовал автоматический режим регулирования. В этот период $T_{\text{вхКВО}}$ изменялась в диапазоне от 18 °С до 24 °С. В данный период заушная температура оставалась стабильной в диапазоне от 37,1 °С до 36,9 °С. А. Овчинин положительно оценил работу АСТР и свое тепловое состояние во время ВКД-46.

По отзывам всех космонавтов, выполнивших ВКД в СК «Орлан-МКС», АСТР обеспечивает теплосъем, адекватный уровню физической нагрузки, и поддерживает тепловое состояние, близкое к комфорту (на уровне

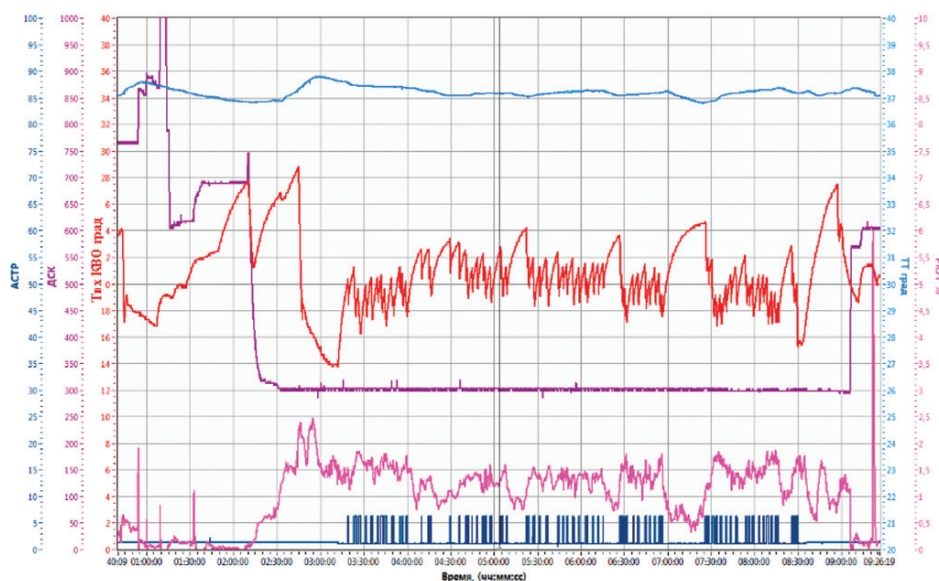


Рис. 10. ВКД-46 29.05.2019 г., А. Овчинин, «Орлан-МКС»

комфорт-прохладно во всем диапазоне физической активности). По словам Ф. Юрчихина, АСТР работает по принципу «включил и забыл», и с такой оценкой согласны все космонавты, использовавшие АСТР.

Из результатов сравнения параметров терморегулирования при ВКД-26, -35, -39 и ВКД-43, -44, -45, в которых одни и те же космонавты использовали соответственно ручной и автоматический способы регулирования, следует, что при использовании АСТР средние значения температуры $T_{\text{вхКВО}}$ в процессе ВКД были выше на 4°C – 8°C и интервал ее изменения был уже, чем при ручном регулировании. Тем не менее, по субъективным отзывам космонавтов, они находились в комфортной зоне по тепловому состоянию. Также можно отметить, что в проведенных ВКД в СК «Орлан-МКС» не зафиксировано случаев закрытия клапана ЭМК-БП в байпасной линии, из чего следует, что энерготраты космонавтов не достигали таких величин, при которых для получения нужного значения $T_{\text{вхКВО}}$ весь расход воды в КВО необходимо направить через сублиматор.

Выводы

На основании анализа результатов первых применений АСТР при ВКД в СК «Орлан-МКС» можно сделать следующие выводы:

1. Технические и физиологические параметры при применении АСТР в плановых ВКД-43, -44, -45 и -46 из российского сегмента МКС полностью подтвердили правильность выбранной принципиальной схемы и эффективность разработанного алгоритма автоматического регулирования.

2. По объективным данным ТМИ о динамике температуры тела в зашумленной области и экспертной оценке теплового состояния космонавтов, АСТР не уступает по эффективности ручному способу регулирования температуры воды на входе в КВО и превосходит его по скорости реагирования на изменения уровня энергозатрат.

3. По отзывам космонавтов, АСТР обеспечивает теплоемкость, адекватный уровень физической нагрузки, поддерживает тепловое состояние, близкое к комфорту (на уровне комфорт-прохладно во всем диапазоне физической активности) и работает по принципу «включил и забыл».

4. Использование автоматики позволило повысить эффективность ВКД и оптимизировать тепловое состояние независимо от начального опыта космонавта по работе с автономной системой обеспечения жизнедеятельности скафандра.

5. Подтверждена правильность выбора базового режима регулирования. По отзывам космонавтов, не возникла необходимость использовать предусмотренную в АСТР возможность корректировки закона регулирования в сторону «холод» или «тепло», хотя они использовали функцию коррекции при обучении во время тренировок в вакуумной камере ТБК-50.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Динамика показателей теплового состояния человека при обеспечении теплового баланса с помощью костюма водяного охлаждения космического скафандра / А.С. Барер, Ю.Г. Конахевич, А.А. Шейкин, С.Н. Филипенков // *Авиакосмическая медицина: VI Всесоюзная конференция по космической биологии и авиакосмической медицине*. – ч. 1. Калуга–Москва, июнь 1979. – С. 105–106.
- [2] А.С. Барер. Искусственное поддержание температурного гомеостаза у человека в экстремальных условиях // *Физиология терморегуляции*. 1984. Л.: «Наука», – С. 320–346.
- [3] Автоматическое поддержание теплового комфорта при работе на Земле и в космосе с использованием костюма водяного охлаждения и контура вентиляции: Концепция и предварительные физиологические исследования / А.Ц. Элбакян, Р.Х. Шарипов, С.Н. Филипенков, Г.М. Глазов, М.М. Балашов // *Космический форум 2011, посвященный 50-летию полета в космос Ю.А. Гагарина (Сборник материалов)*. Москва, апрель 2011. – С. 9.
- [4] Физиологические основы и техническая реализация системы поддержания теплового баланса космонавта при внекорабельной деятельности, включая контур автоматического регулирования основных температурных параметров организма / А.С. Барер, М.М. Балашов, А.С. Бодров, Г.М. Глазов, С.Н. Филипенков, Г.В. Щавелев, А.Ц. Элбакян // *Сборник докладов «Седьмой Международный Аэрокосмический Конгресс IAC-12»*. Москва, август 2012. – С. 683–687.
- [5] G. Glasov, N. Gnoevaya, F. Kubar, S. Filipenkov, R. Sharipov, A. Elbakyan. *Trades study of the thermal control for EVA suited human being // The International Symposium on Environmental Systems and Processes of Integration*. - Preprint No IS93147 Moscow. August 1993. – p. 10.

- [6] A.Tch. Elbakyan, M.M. Balashov, S.N. Filipenkov, G.M. Glasov., N.K. Gnoevaya, F.V. Kubar, R.Kh. Sharipov. The automatic thermal control system (ATCS) for the EVA space suit // SAE Tech. Paper Series. – No 941382. – 1994. – pp. 1–13.

REFERENCES

- [1] Dynamics of human thermal state index when ensuring thermal balance by means of liquid cooled suit / A.S. Barer, Yu.G. Konakhevich, A.A. Sheikin S.N. Filipenkov // Aerospace Medicine: VI All-Union Conference on Space Biology and Aerospace Medicine. – V. 1. Kaluga-Moscow, June 1979. – pp. 105–106.
- [2] A.S. Barer. Artificial maintenance of human temperature homeostasis in extreme conditions // Physiology of Thermoregulation. 1984. Leningrad: «Nauka», – pp. 320–346.
- [3] Automatic maintenance of thermal comfort when working on Earth and in space using a liquid cooled suit and ventilation loop: Concept and preliminary physiological research / A.Ts. Elbakian, R.Kh. Sharipov, S.N. Filipenkov, G.M. Glazov, M.M. Balashov // Space Forum 2011, dedicated to the 50th anniversary of Yu.A. Gagarin (Proceedings). Moscow, April 2011. – p. 9.
- [4] Physiological fundamentals and engineering implementation of a system for maintaining a cosmonaut's heat balance during EVA including autocontrol loop of basic temperature parameters of the body / A.S. Barer., M.M. Balashov, A.S. Bodrov, G.M. Glazov, S.N. Filipenkov, G.V. Schavelev, A.C. Elbakian // Collection of reports "Seventh International Aerospace Congress IAC'12". Moscow, August 2012. – pp. 683–687.
- [5] G. Glasov, N. Gnoevaya, F. Kubar, S. Filipenkov, R. Sharipov, A. Elbakyan. Trades study of the thermal control for EVA suited human being // The International Symposium on Environmental Systems and Processes of Integration. - Preprint No IS93147 Moscow. August 1993. – p. 10.
- [6] A.Ts. Elbakyan, M.M. Balashov, S.N. Filipenkov, G.M. Glasov., N.K. Gnoevaya, F.V. Kubar, R.Kh. Sharipov. The automatic thermal control system (ATCS) for the EVA space suit // SAE Tech. Paper Series. – No 941382 – 1994. – pp. 1–13.