

УДК 629.78.06-533.6

ТЕПЛОНОСИТЕЛИ ДЛЯ ВНУТРЕННИХ КОНТУРОВ СИСТЕМ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

© 2013 г. Морковин А.В., Плотников А.Д., Борисенко Т.Б.

ОАО «Ракетно-космическая корпорация “Энергия” имени С.П. Королева» (РКК «Энергия») Ул. Ленина, 4А, г. Королев, Московская область, Россия, 141070, e-mail: post@rsce.ru

Приводятся экспериментальные данные о физико-химических, теплофизических и эксплуатационных свойствах теплоносителей для внутренних контуров систем терморегулирования пилотируемых космических аппаратов. Изложены результаты коррозионных и медико-биологических испытаний теплоносителей.

Ключевые слова: теплоноситель, плотность, вязкость, температура замерзания, теплоемкость, теплопроводность, коррозия.

THERMAL CONTROL SYSTEM INTERNAL LOOP HEAT CARRIERS OF MANNED SPACE VEHICLES

Morkovin A.V., Plotnikov A.D., Borisenko T.B.

S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia (RSC Energia)
4A Lenin Street, Korolev, Moscow region, 141070, Russia, e-mail: post@rsce.ru

Experimental data is presented on physicochemical, thermal and operational properties of heat carriers for manned space vehicle thermal control system internal loops. Outlined are the results of heat carrier corrosion and biomedical tests.

Key words: heat carrier, density, viscosity, freezing temperature, heat capacity, heat conductivity, corrosion.



МОРКОВИН А.В.



ПЛОТНИКОВ А.Д.



БОРИСЕНКО Т.Б.

МОРКОВИН Алексей Валентинович — начальник лаборатории РКК «Энергия», ктн, e-mail: post@rsce.ru

MORKOVIN Alexey Valentinovich — the Head of Laboratory at RSC Energia, Candidate of Science (Engineering)

ПЛОТНИКОВ Андрей Дмитриевич — начальник отделения РКК «Энергия», ктн, e-mail: Andrey.Plotnikov@rsce.ru

PLOTNIKOV Andrey Dmitryevich — the Head of Division at RSC Energia, Candidate of Science (Engineering)

БОРИСЕНКО Татьяна Борисовна — инженер-технолог РКК «Энергия», e-mail: post@rsce.ru

BORISENKO Tatiana Borisovna — Process Engineer at RSC Energia

При работе электрических приборов внутри космических аппаратов (КА) выделяется тепло, экипаж также является источником тепла. Количество выделяемой тепловой энергии одним космонавтом примерно эквивалентно теплу, выделяющемуся при горении электрической лампы мощностью 200 Вт.

Тепло сбрасывается в космос за счет теплового излучения с помощью радиационных теплообменников, расположенных снаружи кораблей и станций. Теплообменники входят в состав наружного контура системы терморегулирования (СТР). Поскольку температура в наружном контуре может опускаться до $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже, в нем циркулирует жидкость с очень низкой температурой замерзания. Тепло в наружные контуры передается от внутренних через жидкость-жидкостные теплообменники. Внутренние контуры собирают тепло от всех работающих приборов и охлаждают воздух внутри КА с помощью газожидкостного теплообменника.

Требования, предъявляемые к теплоносителям, применяемым во внутренних гидравлических контурах СТР КА, которые учитываются при выборе компонентов для их изготовления, следующие:

- температура кристаллизации (плавления) не выше $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- кинематическая вязкость при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ не более 3 сСт;
- коррозионная инертность к металлическим материалам СТР в течение 15 лет;
- срок сохраняемости свойств в течение 15 лет;
- плотность при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ не более $1,2\text{ г/см}^3$;
- высокие теплопроводность и теплоемкость;
- температура кипения при атмосферном давлении не ниже $80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Теплоноситель должен быть нетоксичным и пожаробезопасным, содержать красящие добавки, обеспечивающие возможность контроля его утечек флуоресцентным методом.

Во внутренних контурах СТР первых орбитальных станций «Салют» применялся теплоноситель «ЛЗ-ТК-5» на основе этиленгликоля (ЭГ), на станции «Мир» — теплоноситель «Темп», также на основе ЭГ, но с улучшенными антикоррозионными и антифрикционными свойствами. Теплоноситель «Темп» использовался без замечаний в течение 15 лет на орбитальной станции «Мир». Коррозионная стойкость материалов СТР была подтверждена при осмотре

фрагментов трубопроводов, доставленных со станции перед выводом ее из эксплуатации. На сплаве АМг-3, из которого изготовлены трубопроводы, образовалась прочная равномерная окисная пленка светло-бежевого цвета, надежно защищающая металл. Никаких следов коррозии обнаружено не было. Большим недостатком этих теплоносителей из-за входящего в их состав этиленгликоля является токсичность.

Этиленгликоль — сосудистый и протоплазматический яд, окисляется в организме в основном до гликолевой и щавелевой кислот. Последняя, соединяясь с кальцием крови, образует щавелевокислый кальций, подавляет окислительные процессы организма, изменяет щелочно-кислотное равновесие крови в сторону ацидоза. Он оказывает выраженное негативное воздействие на центральную нервную систему, сосуды, печень, почки [1]. При попадании внутрь этиленгликоль всасывается в кровеносное русло и длительно циркулирует в жидкой среде организма в виде целой молекулы или продуктов ее метаболизма, что приводит к необратимым изменениям в жизненно важных органах, в первую очередь, в центральной нервной системе, печени, почках. Смертельная доза ЭГ — $1,4\text{ г/кг}$ массы тела, предельно допустимая концентрация (ПДК) в воздухе — 5 мг/м^3 .

Как показал опыт эксплуатации орбитальной станции «Мир», при проведении регламентных, ремонтно-восстановительных работ и при нештатных ситуациях теплоноситель внутренних контуров СТР частично попадает в атмосферу станции и регенерируемую питьевую воду.

С целью повышения безопасности работы экипажа вместо токсичного теплоносителя «Темп» для внутренних контуров СТР в 1997–2003 годах РКК «Энергия» были разработаны новые экологически чистые, нетоксичные и пожаробезопасные теплоносители «Факт» и «Триол». При их разработке был учтен опыт эксплуатации СТР с теплоносителем «Темп».

Вместо токсичного ЭГ в теплоносителе «Факт» применен ацетат калия, в теплоносителе «Триол» — глицерин. Теплоносители имеют оригинальный химический состав, принципиально отличающийся от ранее применявшихся жидкостей, обладают повышенными антикоррозионными и смазывающими свойствами, имеют улучшенную стабильность свойств при длительной эксплуатации. Основные свойства теплоносителей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Свойства теплоносителей
для внутренних контуров СТР

Свойства	Теплоноситель		
	«Темп»	«Факт»	«Триол»
Рабочий диапазон температур, °С	-20...+80	-20...+80	-8...+80
Плотность при 20 °С, г/см ³	1,08	1,20	1,11
Вязкость при 20 °С, сСт	3	3	3
Теплоемкость при 20 °С, Дж/(г·К)	3,5	3,5	3,6
Теплопроводность при 20 °С, Вт/(м·К)	0,42	0,51	0,48
Горючесть	Не горюч	Не горюч	Не горюч
Токсичность (ГОСТ 12.1.007)	III класс (ПДК по ЭГ 5 мг/м ³)	IV класс	IV класс

Исследование коррозионного воздействия теплоносителей на металлические материалы

В РКК «Энергия» совместно с Институтом физической химии (ИФХ) РАН проведены всесторонние коррозионные исследования теплоносителей «Темп», «Факт» и «Триол».

Исследовалась кинетика коррозионного поведения и потенциалов коррозии сплавов АМг-6, сварных образцов сплавов АМг-6, паяных образцов теплообменника, легированных сталей 2Х13, 12Х18Н10Т, ДИ-52, сплава ВТ-14, а также некоторых образцов изделий (подшипников, тритников) в теплоносителях «Темп», «Триол» и «Факт» при комнатной температуре. Длительность испытаний составила 7,5-9 месяцев. Также были проведены испытания сплава АМг-6 в теплоносителях «Темп», «Триол» и «Факт» при 50 °С.

Из результатов электрохимических и коррозионных испытаний следует, что все испытанные материалы самопроизвольно пассивируются в теплоносителях «Темп», «Факт» и «Триол».

В ходе исследования гальванических пар АМГ-6/ВТ-14 и АМГ-6/12Х18Н10Т (площадь АМГ-6 100 см², соотношения площадей поверхности сплавов в парах 1:1 и 50:1) в теплоносителях «Темп» и «Триол» в течение 7,5 месяцев было зафиксировано, что

ток пар не превышает $0,64 \cdot 10^{-3}$ мкА/см² и $0,1 \cdot 10^{-3}$ мкА/см² соответственно, а это свидетельствует об очень малых скоростях коррозии — менее $0,00002$ г/(м²·ч).

Результаты длительных (8-9 и более месяцев) коррозионных испытаний при комнатной температуре представлены для всех сплавов в табл. 2. Скорость коррозии оценивали как по привесу, так и убыли веса образцов. Наблюдения за убылью веса и привесом образцов позволяют сказать, что значения этих величин очень малы, особенно в начальный период, и составляют $(5...12) \cdot 10^{-5}$ г. Поскольку коррозия во всех испытанных теплоносителях протекает при наличии на поверхности сплава пассивной пленки, то привес свидетельствует о том, что коррозия происходит только за счет ее образования. Учет коррозионных потерь, рассчитанных после травления для снятия пленки, не превышал 0,001 мм/год. Так как образующаяся на поверхности образцов пленка является защитной, тормозящей процесс коррозии, то для оценки скорости коррозии считали нецелесообразным подвергать травлению образцы после испытаний.

Скорости коррозии, определенные по убыли веса или привесу, очень низкие и, как правило, не превышают $0,0005$ г/(м²·ч). При этом для большинства материалов они еще ниже и составляют $0,00001...0,00002$ г/(м²·ч).

При температуре 50 °С (табл. 3) скорость коррозии сплава АМг-6 также низкая и во всех испытанных теплоносителях составляет $+0,0003...-0,00004$ г/(м²·ч).

Результаты длительных коррозионных испытаний и измерений потенциалов коррозии металлических материалов СТР КА в теплоносителях «Темп», «Триол» и «Факт» подтвердили, что все они находятся в пассивном состоянии и имеют высокую коррозионную стойкость (табл. 4).

Скорость коррозии сплава АМг-6 при температуре 50 °С (продолжительность испытания 470 ч) в теплоносителях «Темп» и «Триол» составляет $0,00012$ и $0,00009$ мм/год соответственно.

На основании проведенных коррозионных испытаний можно утверждать, что все исследованные материалы, контактировавшие с теплоносителями «Темп» и «Триол», являются «совершенно стойкими» (9-10 баллов по ГОСТ 13819-68).

Коррозионно-электрохимическое поведение сплава алюминия АМг-6 и коррозионная стойкость алюминиевых сплавов в теплоносителях «Факт» и «Триол» всесторонне изучены в РКК «Энергия» совместно с ИФХ РАН и изложены в литературе [2-5].

Скорость коррозии (г/м²·ч) металлических материалов СТР в теплоносителях «Темп», «Триол» и «Факт»

Образцы	Время испытаний, сут	Теплоноситель		
		«Темп»	«Триол»	«Факт»
АМг-6	77	-0,00001	+0,00014	-0,00006
	215	+0,00002	+0,00001	-0,00024
	271	+0,00001	+0,00001	-0,00015
2Х13	43	-0,00070	+0,00000	-0,00011
	91	-0,00060	-0,00028	-0,00023
	158	+0,00014	+0,00037	+0,00023
	217	+0,00006	+0,00028	+0,00017
	240	—	+0,00020	—
12Х18Н10Т	26	+0,00004	—	-0,00010
	180	-0,00001	+0,00002	+0,00002
	221	+0,00000	-0,00001	+0,00000
12Х18Н10Т (сварные соединения)	28	+0,00004	+0,00000	-0,00001
	76	+0,00004	+0,00001	+0,00002
	143	+0,00002	+0,00001	+0,00001
	202	+0,00008	+0,00003	+0,00003
	225	+0,00002	+0,00003	+0,00002
ДИ-52	26	-0,00001	-0,00015	-0,00010
	180	+0,00001	+0,00000	+0,00002
	221	—	+0,00002	—
Нержавеющая сталь марки «Ю» (подшипник)	43	+0,00038	+0,00012	+0,00021
	91	+0,00035	+0,00009	+0,00031
	158	+0,00043	+0,00025	+0,00033
	217	+0,00022	+0,00006	+0,00012
	240	+0,00002	+0,00058	+0,00024
ВТ-14	26	+0,00001	+0,00010	—
	180	+0,00002	+0,00001	+0,00006
	221	—	+0,00002	+0,00002
Элементы паяных термоплат	43	-0,00006	-0,00018	+0,00124
	91	-0,00001	-0,00007	+0,00059
	158	0,00000	-0,00002	+0,00039
	217	-0,00002	-0,00004	+0,00004
	240	0,00000	0,00000	+0,00019
Тритник (расчет проведен на общую поверхность)	30	+0,00014	+0,00027	+0,00020
	78	-0,00003	-0,00001	-0,00005
	145	+0,00006	+0,00010	-0,00005
	204	+0,00005	+0,00007	-0,00012
	227	+0,00004	+0,00007	-0,00004

Примечание. Знаки «-» и «+» — уменьшение и увеличение массы образцов соответственно.

В частности, установлено следующее:

1. Движение теплоносителей «Темп», «Триол» и «Факт» по трубопроводам из алюминиевого сплава АМг-6 не ведет к увеличению скорости коррозии металла. Это было подтверждено результатами экспериментов по изучению анодного поведения сплава при использовании электрода, вращающегося со скоростью до 1 550 об/мин, что соответствовало скорости течения жидкости в трубопроводе до 40 м/мин.

2. Анодные кривые сплава АМг-6 в теплоносителе «Триол» при 25 °С, полученные в инертной атмосфере аргона и в атмосфере воздуха, практически одинаковы, что свидетельствует о том, что анодным процессом на сплаве алюминия является образование пассивной пленки.

3. Изучение влияния температуры (25...70 °С) и потенциалов (–0,75...+0,2 В) сплава АМг-6 на величину устанавливающегося тока при потенциостатической выдержке 2,5 ч в теплоносителе «Триол» показало, что в первоначальный период (10-20 мин) происходит резкое, а затем более плавное его уменьшение. С повышением температуры анодный ток становится в 2-3 раза меньше при потенциалах –0,2...+0,2 В и составляет 0,22...0,32 мкА/см² при 70 °С против значений 0,56...0,69 мкА/см² при 25 °С. Таким образом, влияние температуры на анодную поляризацию сплава АМг-6 в теплоносителе «Триол» идентично влиянию температуры в теплоносителе «Темп».

4. Изменение концентрации компонентов теплоносителя «Триол» в пределах ±25%, включая глицерин (±10%), на скорость коррозии сплава АМг-6 существенного влияния не оказывает.

5. Толщина образующейся на поверхности сплава оксидной пленки зависит от состава жидкости. В теплоносителях «Темп» и «Триол» она составляет 35...80 нм, а в теплоносителе «Факт» – 225...680 нм.

На основании проведенных исследований рекомендовано во внутренних контурах СТР пилотируемых космических аппаратов РКК «Энергия» применять теплоноситель «Триол».

Физико-химические и теплофизические свойства теплоносителя «Триол»

Теплоноситель «Триол» представляет собой водный раствор глицерина с антикоррозионными и антифрикционными добавками.

Основные свойства теплоносителя «Триол» при температуре 20 °С (по ТУ 0258-004-00205073-97):

- плотность 1,10...1,12 г/см³;

- температура кристаллизации не выше –8 °С;
- кинематическая вязкость не более 3 мм²/с;
- показатель преломления 1,37...1,39;
- показатель pH 7,5...8,5.

Основные свойства теплоносителя «Триол» в зависимости от температуры приведены в табл. 5–7.

Теплоемкость жидкости «Триол» определяли по общепринятой методике, основанной на регистрации изменения температуры системы при подводе к ней с помощью электрического нагревателя фиксированного количества тепла. В качестве нагревателя использовали изолированную константовую проволоку, обеспечивающую скорость нагревания 0,5...1,0 °С за 3-4 мин.

Удельную теплоемкость рассчитывали по формуле:

$$C_p = (C_k - C_{ст})/g_{ж},$$

где C_k – теплоемкость всей калориметрической системы, $C_k = IU\tau/\Delta T$ (I – сила тока; U – напряжение; τ – продолжительность прохождения тока; ΔT – изменение температуры); $C_{ст}$ – теплоемкость калориметрического стакана («водяное число»), $C_{ст} = C_k - g_{H_2O} \cdot C_{H_2O}$ (g_{H_2O} , C_{H_2O} – масса и теплоемкость воды соответственно); $g_{ж}$ – масса теплоносителя, наливаемого в калориметр.

Теплофизические характеристики теплоносителя «Триол» в сравнении с характеристиками воды приведены в табл. 8.

Зависимость теплоемкости от температуры имеет ярко выраженную неравномерность, характерную для антифризов.

Теплоноситель «Триол» имеет более высокую теплопроводность, чем «Темп», во всем диапазоне рабочих температур.

Токсикологические свойства теплоносителя «Триол»

Возможность неблагоприятного воздействия теплоносителя «Триол» на здоровье человека в условиях пребывания в гермозамкнутом объеме исследована по заданию РКК «Энергия» в ГНЦ РФ Институт медико-биологических проблем РАН (ИМБП РАН).

Были проведены следующие виды испытаний на лабораторных животных (крысы и мыши): ингаляционное и кожно-резорбтивное воздействие, внутрижелудочное введение жидкости. Одновременно проводились микробиологические исследования по определению теплоносителя в качестве субстрата для размножения бактерий и грибов.

Таблица 3

Скорость коррозии [г/(м²·ч)] сплава АМг-6 в теплоносителях «Темп», «Триол» и «Факт» при температуре 50 °С

Время испытания, ч	Теплоноситель		
	«Темп»	«Триол»	«Факт»
326	0,00029	0,00018	0,00026
472	-0,00004...+0,00003	-0,00003...+0,00025	-0,00001...+0,00014

Таблица 4

Скорость коррозии металлических материалов (мм/год)

Материал	Теплоноситель «Темп»	Теплоноситель «Триол»
Алюминиевый сплав АМг-6	0,00003	0,00003
Образцы паяных теплообменников (алюминиевый сплав АМц, фольга АД-1, силумин)	0,00003	0,00003
Тритник АМг-6/АД-1/12Х18Н10Т	0,00006	0,00010
Сталь 12Х18Н10Т	0,00001	0,00001
Сталь 12Х18Н10Т(сварной шов)	0,00002	0,00003
Сталь 2Х13	0,00006	0,00020
Сталь ДИ-52	0,00001	0,00002
Титан ВТ-14	0,00004	0,00004
Нержавеющая сталь марки «Ю» (подшипник)	0,00022	0,00025

Таблица 5

Зависимость плотности теплоносителя «Триол» от температуры

Температура, °С	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Плотность, г/см ³	1,1054	1,1048	1,1039	1,1027	1,1013	1,1001	1,0971	1,0947	1,0922	1,0897	1,0871	1,0844

Таблица 6

Зависимость кинематической вязкости теплоносителя «Триол» от температуры

Температура, °С	-7,6	-7	-5	-3	0	5	10	14	18	20	25	30	35	40
Вязкость, мм ² /с	8,95	8,52	7,60	6,82	5,97	5,00	4,17	3,62	3,19	3,00	2,57	2,22	1,95	1,76

Таблица 7

Зависимость давления насыщенного пара теплоносителя «Триол» от температуры

Температура, °С	5	10	15	20	22	25	27	30	35	40	45	50
Давление пара, мм рт.ст.	6,539	9,204	12,781	17,529	20,237	24,300	27,306	31,814	43,300	55,316	72,800	92,521

Таблица 8

Теплофизические характеристики теплоносителя «Триол» в сравнении с характеристиками воды

Температура, °С	-5	0	10	20	30	40	50	60	70	80
Теплоемкость теплоносителя «Триол», Дж/(г·К)	3,72	3,71	3,69	3,68	3,69	3,70	3,71	3,72	3,72	3,72
Теплоемкость воды, Дж/(г·К)	—	4,22	4,19	4,18	4,18	4,18	4,18	4,18	4,19	4,20
Теплопроводность теплоносителя «Триол», Вт/(м·К)	0,453	0,459	0,470	0,480	0,491	0,500	0,510	0,519	0,527	0,535
Теплопроводность воды, Вт/(м·К)	—	0,551	0,574	0,599	0,618	0,635	0,648	0,659	0,668	0,674

Функциональное состояние подопытных животных оценивалось по результатам определения:

- общего состояния животных и их поведенческих и ориентировочных реакций;
- динамики массы тела;
- продолжительности жизни в условиях нарастающей гипоксии и гиперкапнии;
- функционального состояния центральной нервной системы при использовании нагрузочных тестов (гексеналовая проба);
- патогистологических и морфологических изменений внутренних органов (головной мозг, легкие, печень, почки, надпочечники, селезенка) животных, подвергшихся влиянию теплоносителя.

Полученные результаты были математически обработаны по правилам вариационной статистики при малой выборке.

Анализ исходных данных и результатов исследований показал, что в состав теплоносителя «Триол» входят, в основном, водные растворы органических и солей неорганических соединений. Все они, судя по литературным данным, являются нетоксичными или малотоксичными веществами с низкой летучестью. Поэтому для осуществления ингаляционной затравки в ИМБП РАН была разработана установка с целью получения высокодисперсного аэрозоля испытуемой жидкости.

Ингаляционная затравка аэрозолем теплоносителя в концентрации 0,2...0,7 г/м³ не выявила нарушений функционального состояния животных. Лишь в первые минуты затравки у подопытных животных отмечалось некоторое возбуждение состояния и раздражение верхних дыхательных путей.

Изучение кожно-резорбтивного действия теплоносителя не показало каких-либо изменений кожных покровов. У них также не отмечалось отклонений в функциональном состоянии основных систем организма.

Оценка степени токсичности жидкости при внутрижелудочном ее введении показала, что она обладает низкой токсичностью (IV класс опасности). Доза теплоносителя 6 г не вызвала гибели животных.

Результаты гистологических исследований свидетельствуют об отсутствии влияния жидкости «Триол» на экспериментальных животных на тканевом и клеточном уровнях. Обнаруженные реакции некоторых тканей были умеренны, не носили общего для всей группы животных характера и выявлялись как в опыте, так и в контроле.

Результаты микробиологических исследований позволили утверждать, что среди представителей бактериальной флоры лишь

Bacillus licheniformis обладали способностью частично сохраняться в теплоносителе «Триол». В то же время вегетативные клетки бактерий *P. aeruginosa*, *S. epidermidis*, *E. aerogenes* быстро отмирали в указанном растворе. Вместе с тем все тест-культуры микромицетов сохранялись в теплоносителе практически в исходном количестве. Ни одна из использованных тест-культур не обладала способностью к размножению в исследуемом теплоносителе.

Так как «Триол» является нетоксичной жидкостью и в определенных условиях может подвергаться воздействию бактериальной флоры, были проведены расширенные исследования в этом направлении. Для этого анализировались пробы теплоносителя «Триол» из тары завода-изготовителя после года хранения (без видимого роста микромицетов); из штатного заправочного агрегата СТР после одного года нахождения в заправщике при заполнении 1/5 его емкости (с видимыми мицелиальными хлопьями); из эксикатора после коррозионных испытаний металлических образцов в течение трех лет, на границе раздела фаз жидкость–воздух (с наличием мицелиального сгустка).

Целью микробиологических исследований было определение численности и видового состава микромицетов в пробах, выявление возможности развития выделенных микромицетов в чистом теплоносителе «Триол».

Определение численности и видового состава осуществлялось методом посева определенного количества исходного раствора теплоносителя в плотную питательную среду Чапека, инкубирования посевов при 28 °С в течение 7-10 суток с последующим учетом выросших колоний грибов (табл. 9).

Как видно из полученных данных, в пробе № 1 микромицеты обнаружены не были. В пробах № 2 и 3 выявлены микромицеты, среди которых доминировали представители вида *Aspergillus versicolor*. Указанные микроорганизмы являются обитателями природных резервуаров и, прежде всего, почв различных регионов. Наиболее высокое содержание грибов имело место в пробе № 3, куда они могли быть занесены с образцами металлических материалов при коррозионных испытаниях.

С целью определения возможности развития грибов в жидкости «Триол» в пробирки, целиком и на 1/2 заполненные чистым теплоносителем, добавляли хлопья и сгустки микромицетов путем их переноса микробиологической петлей из проб № 2 и 3 и выдерживали при комнатной температуре в течение шести месяцев. При этом определяли способность грибов развиваться в теплоносителе как

при наличии воздуха, так и без него. Для контроля определяли способность микромицетов из проб № 2 и 3 расти в жидкой среде Чапека.

После шестимесячного экспонирования всех пробирок с теплоносителем «Триол», в которые вводили микромицеты из пробы № 2, отмечалось отсутствие в них видимого роста грибов. При посеве теплоносителя из этих пробирок в питательную среду Чапека не было обнаружено колониеобразующих единиц микромицетов. Численность жизнеспособных фрагментов грибов рода *Aspergillus* составляла $2,8 \cdot 10^6$ колониеобразующих единиц в 1 мл.

После шестимесячного экспонирования пробирок с теплоносителем «Триол», в которые вводили микромицеты из пробы № 3, была выявлена зависимость сохранения жизнеспособности культур от наличия воздуха. Отмечалось развитие микромицетов в верхних слоях теплоносителя, то есть на границе раздела фаз жидкость–воздух.

Периодическое наблюдение за изменением состояния теплоносителя в исследуемых пробирках в течение шести месяцев показало, что рост сгустка в пробирках, на 1/2 заполненных теплоносителем «Триол», отмечался только в первый месяц их экспонирования. В дальнейшем сколько-нибудь заметного увеличения сгустка грибов в данных пробирках не наблюдалось. Результаты посевов суспензий из пробирок, инокулированных сгустками микромицетов из пробы № 3, после шестимесячного экспонирования представлены в табл. 10.

В результате исследований установлено, что при заражении как хлопьями, так и сгустками, состоящими из микромицетов, без доступа воздуха развитие грибов в теплоносителе «Триол» прекращается, и они теряют жизнеспособность. При наличии воздуха в начальный период опыта наблюдалось развитие микромицетов из пробы № 3 и сохранение их жизнеспособности до конца эксперимента.

Опыты по определению возможности развития грибов, выделенных из проб № 2 и 3, в чистом теплоносителе «Триол» показали, что без доступа воздуха они теряют жизнеспособность. Вместе с тем при наличии воздуха на границе раздела фаз жидкость–газовая среда грибы из пробы № 3 обладали способностью к незначительному развитию (до $4,6 \cdot 10^2$ колониеобразующих единиц в 1 мл) в теплоносителе в начальный период эксперимента.

Результаты исследований позволяют утверждать, что теплоноситель «Триол» является малотоксичным соединением, неспособствующим размножению бактериальной микрофлоры. Для лучшей сохранности теплоносителя при транспортировке рекомендована герметичная непрозрачная тара — запаянные бидоны из белой жести.

Выводы

Таким образом, изучены коррозионные свойства теплоносителей по отношению к металлическим материалам систем терморегулирования пилотируемых космических аппаратов.

Таблица 9

Количество и видовой состав микромицетов в пробах теплоносителя

Номер пробы	Проба	Численность колониеобразующих единиц грибов в 1мл	Видовой состав микромицетов в пробе
1	Из тары завода-изготовителя	Не обнаружено	Отсутствует
2	Из заправочного агрегата	$4,1 \cdot 10^4$	$3,3 \cdot 10^4$ <i>Aspergillus versicolor</i> $4,0 \cdot 10^3$ <i>Penicillium simplissimum</i> $4,0 \cdot 10^3$ <i>Cladosporium tenuissimum</i>
3	Из эксикатора	$7,9 \cdot 10^6$	$3,8 \cdot 10^6$ <i>Aspergillus versicolor</i> $2,0 \cdot 10^6$ <i>Aspergillus sydowi</i> $2,1 \cdot 10^6$ <i>Paecilomyces aeruginus</i>

Таблица 10

Количественный и видовой состав микромицетов в пробах теплоносителя после шестимесячного экспонирования

Характеристика пробы	Численность колониеобразующих единиц грибов в 1мл	Видовой состав микромицетов
Пробирка с теплоносителем без воздуха	Не обнаружено	Отсутствует
Пробирка с теплоносителем и воздухом	$4,6 \cdot 10^2$	<i>Aspergillus versicolor</i>
Жидкая среда Чапека	$3,3 \cdot 10^6$	<i>Aspergillus versicolor</i>

Получен новый нетоксичный пожаробезопасный теплоноситель «Триол», изучены его физико-химические, теплофизические и токсикологические свойства в диапазоне рабочих температур.

В настоящее время внутренние контура всех пилотируемых космических аппаратов заправляются только этим теплоносителем. В частности, теплоносителем «Триол» заправлены внутренние контура СТР служебного модуля и функционального грузового блока Международной космической станции.

Российским агентством по патентам и товарным знакам РКК «Энергия» выдан патент на химический состав теплоносителя «Триол» [6].

Список литературы

1. Садовникова Л.Д. Психические нарушения при острых отравлениях этиленгликолями. М., 1983.

2. Щербаков А.И., Морковин А.В., Чернова Г.П., Борисенко Т.Б. и др. Коррозионная стойкость алюминиевых сплавов в водно-органических теплоносителях // Коррозия: материалы, защита. 2003. № 5. С. 10–14.

3. Щербаков А.И., Морковин А.В., Чернова Г.П., Борисенко Т.Б. и др. Коррозионно-электрохимическое поведение сплава алюминия АМг-6 в теплоносителях. Ч. I. Водно-ацетатные растворы // Коррозия: материалы, защита. 2006. № 8. С. 17–23.

4. Щербаков А.И., Морковин А.В., Чернова Г.П., Борисенко Т.Б. и др. Коррозионно-электрохимическое поведение сплава алюминия АМг-6 в теплоносителях. Ч. II. Состав «Факт» // Коррозия: материалы, защита. 2006. № 10. С. 7–12.

5. Щербаков А.И., Морковин А.В., Чернова Г.П., Борисенко Т.Б. и др. Коррозионно-электрохимическое поведение сплава алюминия АМг-6 в теплоносителях. Ч. III. Состав «Триол» // Коррозия: материалы, защита. 2006. № 11. С. 11–16.

6. Патент 2137798. Российская Федерация. Композиция низкотемпературного теплоносителя. Морковин А.В., Борисенко Т.Б., Файкин Е.В., Плотников А.Д. и др.; заявитель и патентообладатель – ОАО «РКК «Энергия» – № 98120219; заявл. 10.11.98; приоритет от 10.11.1998.

Статья поступила в редакцию 18.03.2013 г.