

УДК 621.3.038+621.52

Имитация воздействия атомарного кислорода на материалы космических аппаратов

В. В. Абраимов

Фізико-технічний інститут низьких температур ім. Б. І. Веркіна НАН України, Харків

Надійшла до редакції 14.01.98

Описано систему для наземної прискореної імітації неперервних пучків атомарного кисню, основана на новому методі їхньої генерації, з енергією $E = 5$ еВ (що відповідає швидкості КА 8 км/с) з потоками частинок в проміжку $10^{15} < j < 10^{17}$ част./ $(\text{см}^2\text{с})$. В даній роботі швидкість атомів кисню 8 км/с ($E = 5$ еВ) досягається газодинамічним методом. Дисоціація надзвукового потоку молекул кисню O_2 на атоми відбувається в наземному імітаторі під впливом вакуумного ультрафіолетового (ВУФ) випромінювання та УФ-випромінювання $\lambda = 110 \dots 400$ нм адекватно процесам, які відбуваються у верхній атмосфері Землі на висотах 200—1000 км при дії сонячного випромінювання. Пропонується проведення комплексних досліджень та випробувань впливу потоків атомарного кисню на поверхню КА, вивчення деградації фізико-механічних властивостей матеріалів космічних систем, експлуатованих на висотах 200÷1000 км (наприклад, міжнародна космічна станція «Альфа»), а також серій супутників та інших КА з часом життя 10—20 років.

ПРОБЛЕМА АТОМАРНОГО КИСЛОРОДА В КОСМИЧЕСКИХ ЦЕНТРАХ NASA, РОССИИ, СТРАНАХ ЕВРОПЕЙСКОГО КОСМИЧЕСКОГО АГЕНТСТВА

В последние годы в области космического материаловедения весьма актуальной является задача имитации факторов космического пространства в лабораторных наземных условиях. Имитацию следует проводить ускоренно (с разными коэффициентами ускорения), а также имитировать максимальное число экстремальных факторов космического пространства. Анализ эксплуатации орбитальной станции «Мир», космических кораблей типа «Шаттл» на околоземных орбитах, а также спутниковых систем на разных высотах показал, что для интервала высот 200—1000 км экстремальным фактором космического пространства (наряду с воздействием протонов и электронов радиационных поясов Земли, излучением Солнца, вакуума и термоциклирования, одновременная имитация которых описана в работах [1, 8]) являются потоки атомарного кислорода. Статическая плотность атомарного кислорода на высоте 300 км оказалась порядка $\rho \sim$

$\sim 10^9$ част./ см^3 . При скорости КА 8 км/с данная статическая плотность атомов кислорода превращается в мощный поток нейтральных атомов кислорода, который достигает величины 10^{15} част./ $(\text{см}^2\text{с})$.

При таком потоке в каждую секунду атомарный кислород покрывает моноатомным слоем поверхность космического аппарата. Интенсивные исследования в СССР, СНГ и США состава верхней атмосферы Земли показали (рис. 1, 2), что на высотах 200—1000 км (характерных для полетов орбитальных станций «Мир», МКС «Альфа», КА типа «Шаттл» и «Буран», а также серий малых и микроспутников, разрабатываемых в КБ «Южное» и ESA) атмосфера состоит в основном из нейтральных атомов кислорода, концентрация которых максимальна ($\rho \approx 10^9$ част./ см^3) на высотах 250—300 км. Данная особенность состава атмосферы сохраняется до высот 700—1000 км. Здесь есть также нейтральные атомы азота, аргона, водорода с плотностями $\rho_i = 10^6 \div 10^7$ част./ см^3 , а также ионизированные атомы O^+ , N^+ , Ar^+ с существенно меньшими плотностями ($\rho = 10^5 \div 10^6$ част./ см^3). Суммарный флюенс потока атомарного кислорода в течение

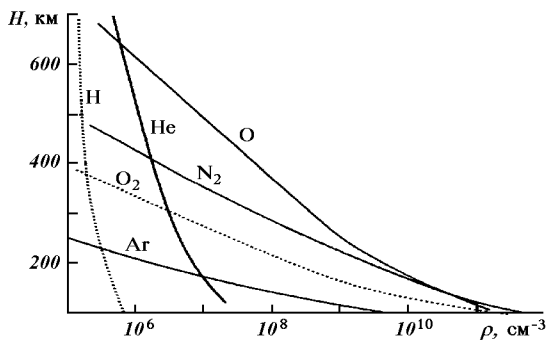


Рис. 1. Состав атмосферы Земли на низких орбитах (высоты $H = 200\text{--}1000$ км)

года полета на высоте 300 км оказывается порядка $\Phi \sim 10^{22}$ част./см². Это весьма значительная величина, которая приводит к существенной деградации материалов КА и вызывает значительную потерю их массы, резкое изменение отражательной способности зеркал, деградацию оптических, электрофизических, механических свойств материалов, элементов КА, солнечных батарей, оптических и спектральных приборов [4, 9, 11]. Изменение одних свойств вызывает, как показал опыт, ускоренное изменение комплекса других свойств. Так, например, снижение поверхностной проводимости ρ_s вызывает появление разности потенциалов ΔU между элементами поверхности КА, и следовательно, возникновение больших электрических разрядов и пробоев, негативно влияющих на работоспособность приборов КА. Электрические разряды разрушают материалы КА и создают электромагнитные, оптические, акустические и другие помехи работе бортовых систем КА. Мелкие кусочки разрушенного поверхностного слоя, а также продукты «горения» материалов поверхности КА в потоке атомарного кислорода (т. е. собственная атмосфера КА), являются источниками свечения, которое охватывает области передней части КА на высоту более 20—25 см от поверхности корабля, а также обнаруженный эффект «мерцания», создающий большие помехи чувствительной электронной аппаратуре космических аппаратов [4]. Именно эти обстоятельства вызвали повышенный интерес к проблеме наземной имитации атомарного кислорода. Лабораторная имитация потоков атомарного кислорода с кинетической энергией $E = 5$ эВ сопряжена с весьма значительными трудностями. В ведущих космических центрах NASA, России и стран ESA к настоящему времени существует более десяти различных физических методик для генерации потоков атомарного кислорода. (Россия имеет две установки; Франция, по литературным данным, две

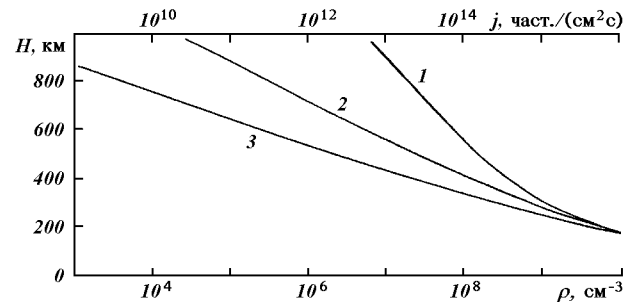


Рис. 2. Зависимость концентрации атомов кислорода и величины потока атомов кислорода (при скорости $v = 8$ км/с от высоты H : 1 — максимум солнечной активности, 2 — стандартная атмосфера, 3 — минимум солнечной активности)

методики: газодинамическую установку «Серфатрон», а также установку CASOAR в центре CNES-ONERA; остальными методиками обладают США). Следует особо подчеркнуть, что в США проблеме атомарного кислорода и его воздействию на КА в последние пять-семь лет уделяется весьма значительное внимание в связи с многократными полетами КА типа «Шаттл», а также с проектом международной космической станции «Альфа».

В Украине (по литературным данным) аналогичных методик нет.

По способу образования пучков атомов кислорода методики можно разделить на четыре типа.

Первый и наиболее простой метод, — это электрический разряд в газовой смеси, содержащий кислород, и эффузионное истечение атомов кислорода из камеры. Однако этим способом можно получить потоки атомов кислорода с энергией менее 1 эВ [6].

Второй метод базируется на нейтрализации пучка заряженных и ускоренных до необходимой энергии ионов кислорода (метод перезарядки пучка ионов кислорода). Данный метод ограничен по величине потока кислорода из-за кулоновского отталкивания ионов в пучке [5, 14].

Третий метод базируется на нагреве газа до высокой температуры 3000—3400 К (разными способами), при которой происходит диссоциация молекул O_2 с последующим быстрым расширением образовавшейся плазмы. Однако данный метод также ограничен по энергии атомарного кислорода [7].

Четвертая группа методов получения пучков атомарного кислорода является комбинированной — как по способу достижения атомами кислорода скоростей 8 км/с ($E = 5$ эВ), так и по методам диссоциации молекул кислорода O_2 на атомы. Данные методики получения потоков атомов кислорода — в основном импульсные [3, 10, 12]. Так, напри-

мер, установка CASOAR (Франция) имеет импульсный пучок атомов кислорода с частотами $\nu = 1—10$ Гц, длительностью $\Delta\tau = 10—100$ мкс [10].

Особо отметим, что имеющиеся методики не лишены весьма существенных недостатков:

- не всегда достигается необходимая величина энергии атомов кислорода $E = 5$ эВ (скорости 8 км/с);
- многие из методик имеют импульсный пучок атомов кислорода (с частотами $\nu = 1—10$ Гц, длительностью $\Delta\tau = 10 \dots 100$ мкс);
- не всегда достигается требуемая для ускоренных исследований плотность потока атомарного кислорода $j = 10^{15} \dots 10^{17}$ част./см²с (не достигаются и другие существенные параметры имитаторов).

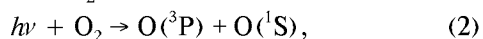
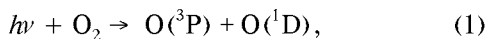
Здесь предлагается новый метод наземной ускоренной имитации непрерывных потоков атомарного кислорода с энергией $E = 5$ эВ и плотностью потоков частиц $j \approx 10^{15} \dots 10^{17}$ част./см²с).

МЕТОД ИМИТАЦИИ ПУЧКОВ

АТОМАРНОГО КИСЛОРОДА С ЭНЕРГИЕЙ $E = 5$ ЭВ.

СХЕМА ИМИТАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

В атмосфере Земли на высотах 200—1000 км атомарный кислород образуется согласно [4] в основном при фотодиссоциации молекул O_2 , т. е. при воздействии электромагнитного излучения Солнца $\lambda = 110 \dots 400$ нм (область УФ- и вакуумного ультрафиолетового (ВУФ-) излучения на молекулы O_2 :



где $O(^3P)$ — атом кислорода в ³P-состоянии, $O(^1D)$ и $O(^1S)$ — возбужденные атомы кислорода в ¹D и ¹S-состояниях, электронная энергия которых по отношению к основному состоянию равна соответственно 1.967 и 4.189 эВ.

На рис. 3 приведен общий вид имитатора атомарного кислорода (ИАК), который состоит из следующих основных систем: криогенновакуумной камеры 1 с системой генерации пучков атомарного кислорода газодинамическим способом со специальным сверхзвуковым соплом Лавалья 2 и скиммером 6; системы ввода излучений искусственного заатмосферного Солнца в интервале длин волн $\lambda = 110 \dots 400$ нм, создаваемого источником ВУФ-излучения 10, а также источником УФ-излучения 9 для диссоциации молекул кислорода O_2 на атомы O и их возбуждения; системы криогенно-вакуумной откачки имитатора 7, 8 с применением гелиевого адсорбционного 8 и турбомолекулярных насосов; систе-

мы автоматической подачи образцов материалов, масштабных моделей и узлов космических аппаратов 3; системы диагностики потоков атомарного кислорода и контроля состава газов имитатора ИАК 4, 5; системы автоматического управления и контроля имитатора ИАК 14.

Сущность предлагаемого метода генерации непрерывных пучков атомарного кислорода, который основан на новом физическом принципе, заключается в следующем.

Смесь газов кислорода и гелия $O_2 + He$ или кислорода и аргона $O_2 + Ar$ (в соответствующих пропорциях, например, в соотношении 1:1) (рис. 3), истекая в вакуум в камере 1 через специальное сверхзвуковое сопло Лавалья 2 со скиммером 6, приобретает необходимую скорость 8 км/с. Диссоциация молекул кислорода O_2 на атомы O и их возбуждение происходит под воздействием ВУФ-излучения $\lambda\lambda = 110 \dots 200$ нм, создаваемого источником ВУФ-излучения 10 с интенсивностью $I = (0.01 \dots 4) \cdot 10^{-4}$ Вт/см², а также под влиянием УФ-излучения в интервале $\lambda = 200 \dots 400$ нм.

В качестве ВУФ-источника в макетной камере 1 имитатора ИАК в настоящей работе (рис. 3) используется имитатор, описанный в работе [2]. В предлагаемом способе может быть использован любой источник ВУФизлучения (например, лазерный) с соответствующей интенсивностью потока.

Источником УФ-излучения имитатора атомарного кислорода является источник «искусственного заатмосферного Солнца» типа ИС-160 с интенсивностью $I = 0.14 \dots 2$ Вт/см² ($\lambda = 200 \dots 2500$ нм) и с соответствующим набором фильтров. Спектр излучения указанных двух источников максимально приближен к спектру Солнца.

Таким образом, в настоящей работе скорость атомов кислорода 8 км/с ($E = 5$ эВ) достигается газодинамическим методом. Диссоциация сверхзвукового потока молекул кислорода O_2 на атомы O происходит в наземном имитаторе под воздействием ВУФ- и УФ-излучения в интервале длин волн $\lambda = 110 \dots 400$ нм адекватно процессам, которые протекают в атмосфере Земли на высотах 200—1000 км при воздействии солнечного излучения.

Особо отметим два обстоятельства, определяющие новизну данного метода генерации непрерывных пучков атомарного кислорода.

Во-первых, образование атомов кислорода, т. е. диссоциация молекул O_2 на атомы происходит в сверхзвуковом потоке молекул O_2 , т. е. после их прохождения через сверхзвуковое сопло Лавалья. В описанных ранее методиках диссоциация (например, термическая) происходила до входа плазмы в сопло Лавалья.

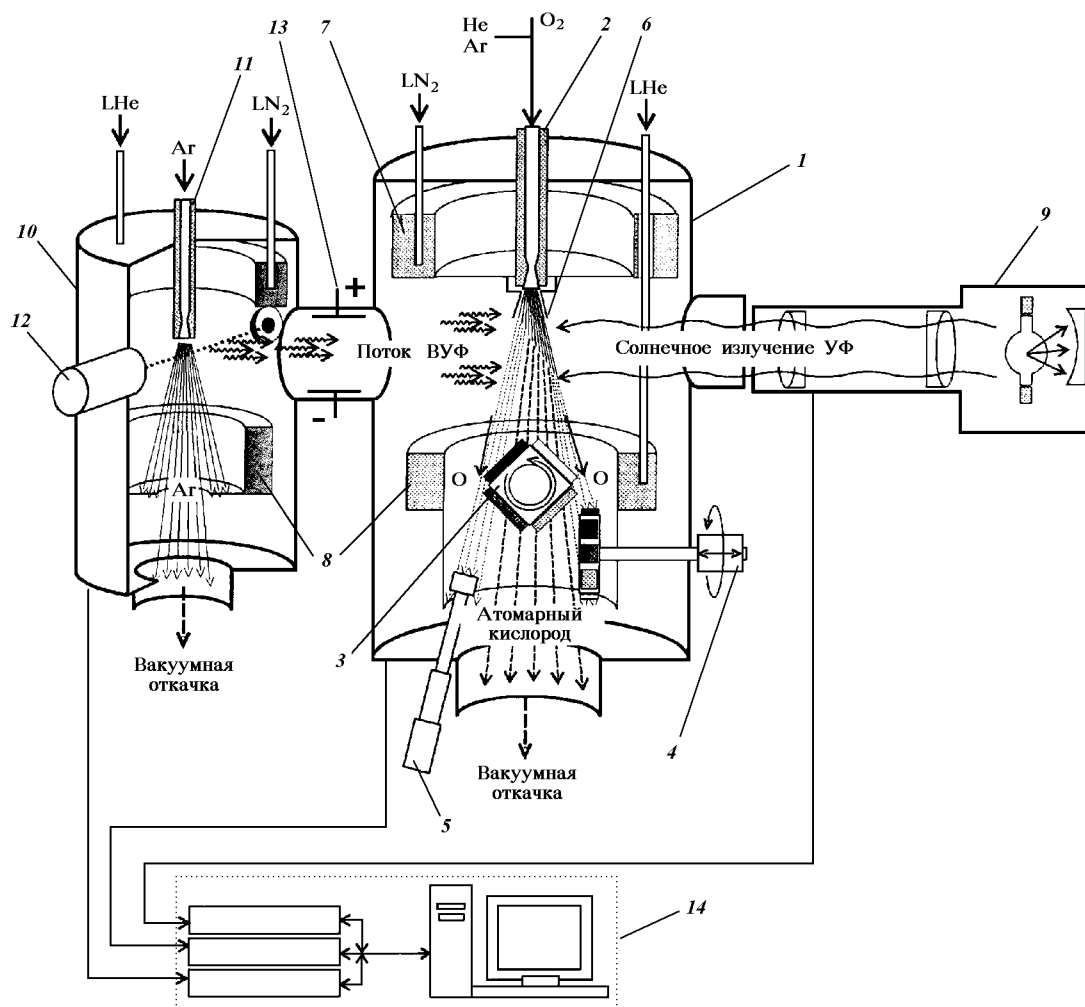


Рис. 3. Общий вид имитатора атомарного кислорода (ИАК) и его основных систем (с энергией частиц $E = 5$ эВ): 1 — вакуумная камера ИАК, 2 — сверхзвуковое сопло Лавалья для формирования потока O₂, 3 — образец, 4 — система диагностики кислородного пучка, 5 — масс-спектрометр, 6 — скиммер, 7 — криогенный экран (N₂), 8 — криогенный насос (He), 9 — источник УФ-излучения, 10 — камера источника ВУФ-излучения, 11 — сверхзвуковое сопло Ag, 12 — электронная пушка источника ВУФ-излучения, 13 — фильтр заряженных частиц, 14 — система автоматического контроля ИАК

Таким образом, предлагаемый метод существенно отличается от описанных ранее по способу диссоциации, т. е. механизмом воздействия квантов ВУФ-излучения на молекулы кислорода, движущиеся со сверхзвуковой скоростью 8 км/с после их истечения из сопла Лавалья.

Второе обстоятельство заключается в том, что в настоящей методике скорость атомов кислорода 8 км/с (соответствующая первой космической скорости) достигается только газодинамическим способом, применяя специальное сверхзвуковое сопло Лавалья, а также смесь газов кислорода и гелия в соответствующих пропорциях.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИМИТАТОРА АТОМАРНОГО КИСЛОРОДА

Криогенно-вакуумная камера имитатора ИАК состоит из следующих основных систем (рис. 3):

- система генерации пучков атомарного кислорода газодинамическим методом со специальным соплом Лавалья 2 и скиммером 6;

- криогенно-вакуумная система откачки с применением гелиевых адсорбционных и турбомолекулярных насосов;

- система ввода излучений искусственного Солнца в интервалах длин волн $\lambda = 110 \dots 400$ нм для

диссоциации молекул кислорода;

— система диагностики потоков атомарного кислорода и контроля состава газов 4;

— автоматическая система подачи образцов 3 материалов, масштабных моделей, узлов, механизмов КА и микроспутников;

— система измерения физико-механических свойств материалов КА непосредственно в потоках атомарного кислорода и в вакууме;

— корпус камеры с крышками, с требуемыми фланцами; криогенные экраны камеры, охлаждаемые жидким азотом ($T = 77 \text{ K}$);

— вакуумная аппаратура и средства откачки (вторичные приборы по измерению низкого и высокого вакуума);

— приборы, осуществляющие измерение свойств материалов в пучках атомарного кислорода.

Система генерации пучков атомарного кислорода обеспечивает генерацию непрерывных потоков атомарного кислорода газодинамическим методом с энергией $E = 5 \text{ эВ}$ с плотностями потоков $j = 10^{15} \div 10^{17} \text{ част./см}^2\text{с}$.

Конструкция криогенно-вакуумной камеры обеспечивает одновременный ввод двух типов излучений для диссоциации молекул кислорода:

1. УФ-излучения в интервале $\lambda = 200 \dots 400 \text{ нм}$ с интенсивностью $I = 0.14 \text{ Вт/см}^2$.

2. ВУФ-излучения в интервале $\lambda = 110 \dots 200 \text{ нм}$ с интенсивностью $I = 2 \cdot 10^{-6} \div 3.6 \cdot 10^{-4} \text{ Вт/см}^2$.

Глубина вакуума в криогенно-вакуумной камере составляет $P = 5 \cdot 10^{-6} \text{ Торр}^*$. Интервал температур в криогенно-вакуумной камере на мишени имеет величину $T = 80 \text{—} 350 \text{ K}$.

Технические параметры криогенно-вакуумной камеры имитатора ИАК

| | |
|--|--|
| — Рабочий объем камеры | $\approx 80 \text{ л}$ |
| — Давление остаточного газа | $5 \cdot 10^{-6} \text{ Торр}$ |
| — Температура радиационного экрана | 77 K |
| — Расход жидкого азота | $5 \text{—} 6 \text{ л/ч}$ |
| — Активная площадь воздействия потока диаметром атомов кислорода на мишень | круг $\varnothing = 110 \text{—} 130 \text{ мм}$ |
| — Углы ввода излучений имитаторов искусственного заатмосферного Солнца | 90° |

Система контроля состава газов имитатора ИАК производится в настоящее время на базе специально созданного масс-спектрометра типа РОМС-9М с параметрами:

— диапазон анализируемых массовых чисел

2...500 а.е.м.

— разрешающая способность на уровне 10 % высоты пика Ar, — 1 М/е,

— скорость развертки — 0.5 ... 10 а.е.м./с.

Вакуумная откачка камеры ИАК проводится турбомолекулярными насосами типа «Lybold» со скоростями откачки 2000—3000 л/с, а также гелиевым адсорбционным насосом, расположенным внутри камеры имитатора атомарного кислорода 8.

Корпус камеры ИАК сварной, изготовлен из нержавеющей стали типа 12Х18Н9Т с шарнирно открывающейся крышкой.

Экран камеры изготовлен из алюминиевого сплава типа АМЦ со степенью черноты наружной поверхности $\epsilon = 0.05 \text{—} 0.2$; внутренней поверхности $\epsilon = 0.9 \text{—} 0.95$ (для адекватной имитации условий космического пространства, при которой возврат молекул на объект ничтожен).

Система диссоциации ИАК состоит из двух источников, имитирующих полный спектр электромагнитного излучения заатмосферного Солнца, с набором соответствующих фильтров.

1. Имитатор УФ-излучения в интервале длин волн $\lambda = 200 \dots 400 \text{ нм}$ с интенсивностью $I = 0.14 \text{ Вт/см}^2$, а также с площадью облучения, равной площади круга $d = 100 \text{ мм}$.

2. Источник ВУФ-излучения в интервале длин волн $\lambda = 110 \dots 200 \text{ нм}$ с интенсивностью излучения $I = 2 \cdot 10^{-6} \text{—} 3.6 \cdot 10^{-4} \text{ Вт/см}^2$ на расстоянии 30—35 см от оси потока молекул O_2 .

Спектр излучения двух источников максимально приближен к спектру Солнца. Диаметр поверхности, облучаемой ВУФ-источником, равен 110—120 мм.

Разработаны следующие методики измерений физико-механических свойств материалов КА, которые производятся непосредственно под пучком атомарного кислорода в камере 1 (т. е. *in situ* в вакууме).

1. Измерение электрофизических свойств материалов КА, вольтамперных характеристик солнечных батарей, резистивных свойств (объемного и поверхностного сопротивлений) материалов КА.

2. Изучение работоспособности масштабных моделей космических аппаратов, элементов и систем малых спутников в потоке атомарного кислорода.

3. Исследование процессов газовой выделений материалов КА при воздействии атомарного кислорода (с энергией $E = 5 \text{ эВ}$) методом масс-спектрометрии с использованием масс-спектрометра РОМС-9М (разработанного во ФТИНТ НАН Украины).

* 1 Торр = 1 мм рт. ст. = 133.3 Па.

НАУЧНАЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ

Имитатор атомарного кислорода ИАК позволит проводить изучение и испытание работоспособности материалов КА, масштабных моделей космических систем и малых спутников в потоках атомарного кислорода, имитируя высоты 200—1000 км.

Проведенные на имитаторе ИАК комплексные исследования физико-механических свойств материалов при воздействии на них потоков атомарного кислорода позволят в будущем предоставлять научно обоснованные рекомендации по созданию и применению новых материалов с заданными свойствами, обеспечивающими надежную работу космических систем на высотах 200—1000 км, таких как международная космическая станция «Альфа», серии спутников и других КА с временами жизни 10—20 лет.

В настоящее время во ФТИНТ НАН Украины разработан, создан и введен в эксплуатацию имитатор для одновременной ускоренной имитации шести экстремальных факторов космического пространства — КИФК [1, 8].

Данный комплексный имитатор имитирует основные факторы в радиационных поясах Земли, т. е. на высотах 300—80 000 км.

Комплексное использование двух данных имитационных систем позволит имитировать все основные экстремальные факторы космического пространства (на высотах 200—80 000 км) и их воздействие на космические аппараты, разрабатываемые в КБ «Южное» и используемые практически для всех космических миссий будущего.

Автор выражает глубокую благодарность академикам НАНУ В. Г. Барьяхтару и В. И. Трефилову, профессору И. М. Неклюдову и Л. К. Колыбаеву за плодотворное обсуждение работы.

1. Абраимов В. В., Негода А. А., Завалишин А. П., Колыбаев Л. К. Комплексная имитация факторов космического пространства // *Космічна наука і технологія*.—1995.—1, № 2-6.—С. 76—80.
2. Веркин Б. И., Верховцева Э. Т., Фогель Я. М. Газоструйный источник вакуумного ультрафиолетового излучения // *Физика вакуумного ультрафиолетового излучения*. — Киев: Наук. думка, 1974.—С. 38—58.
3. Кудрявцев Н. Н., Мазяр О. А., Сухов А. М. Методы генерации пучков атомарного кислорода. // *Приборы и техника эксперимента*.—1994.—№ 1.—С. 31—48.
4. Никитин Е. Е., Смирнов Б. М. Медленные атомные

столкновения. — М.: Энергоиздат, 1990.—254 с.

5. Aбраимов В. В., Негода А. А., Завалишин А. П., et al. A complex outer space simulator // *Proc. Fourth Ukraine-Russia-China Symp. on Space Science and Technology*; Kyiv, September 12—17, 1996. — Kyiv, 1996.—Vol. II.—P. 530—533.
6. Arnold G. S., Peplinski D. R., Cascarano F. M. // *J. Spacecraft and Rockets*.—1987.—24, N 5.—P. 454—458.
7. Caledonia G. E., Krech R. H. Energetic oxygen atom material degradation studies// *AIAA Paper*.—1987.—N 105.—P. 1—11.
8. Cross J. B., Cremon D. A. Atomic oxygen surface interactions — mechanistic study using ground-based facilities // *AIAA Paper*.—1985.—N 0473.—17 p.
9. Cross J. B., Spangler L. H., Haffbauer M. A., Archuleta F. A. High intensity 5 eV CW-laser sustained O-atom exposure facility for material degradation studies // *SAMPE Quarterly*.—1987.—18.—P. 41.
10. Dauphin G. Atomic oxygen — a low orbit plague. // *Proc. 8-th Int. Conf. Soc. Adv. Mater. And Process. Eng. Eur. Chapter, La Baule, May 18—21, 1987. — Amsterdam e. a., 1987.—P. 345—368.*
11. Leger L. J., Visentine J. T., Schliesing J. A. A consideration of atomic oxygen interactions with space station // *AIAA Paper*.—1985.—N 0476.—P. 1—11.
12. Sibener S. J., Buss R. J., Ng C. Y., Lee Y. T. Development of a supersonic O(³P₁), O(¹D₂) atomic oxygen nozzle beam source // *Rev. Sci. Instrum.*—1980.—51, N 2.—P. 167—170.
13. Singh B., Amore L. J., Sailor W., Racete G. Laboratory simulation of low earth orbital atomic oxygen interaction with space-craft surfaces // *AIAA Paper*.—1985.—N 0477.—7 p.
14. Walther S. R., Leung K. N., Kunkel W. B. Development of low energy oxygen ion beams for surface studies // *J. Appl. Phys.*—1986.—60, N 9.—P. 3015—3017.

SIMULATION OF THE INFLUENCE OF ATOMIC OXYGEN UPON SPACECRAFT MATERIALS

V. V. Aбраimov

We describe a system which is intended for ground-based accelerated simulation of continuous atomic oxygen beams with the energy $E = 5$ eV (this corresponds to the spacecraft velocity 8 km/s). The system is based on a new method for generating atomic oxygen with flows of particles in the interval $10^{15} < j < 10^{17}$ particle/(cm²s). The oxygen atom velocity 8 km/s ($E = 5$ eV) is achieved with the gas-dynamic method. In the ground-based simulator the dissociation of a supersonic flow of oxygen molecules O₂ to the oxygen atoms occurs under the influence of the vacuum ultraviolet (VUV) and ultraviolet (UV) radiation in the wavelength range $\lambda = 110 \dots 400$ nm. These processes are adequate to the processes going on in the upper strata of the Earth's atmosphere at the altitudes 200—1000 km under the solar irradiation. Complex studies and tests are planned to investigate the effect of atomic oxygen flows on spacecraft surface, the degradation of the physicomechanical properties of the materials used in space systems operating at the heights $H = 200—1000$ km (e.g., orbital stations of the "Alpha" type), as well as series of small satellites with lifetimes of 10—20 years.