

УДК 621.7

Газоструйный имитатор ВУФ- и УМР-излучения Солнца и воздействие его излучения на материалы

Э. Т. Верховцева, В. И. Яременко, В. Д. Телепнев

СКТБ по КТ Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна НАН України, Харків

Надійшла до редакції 23.03.98

В роботі представлені конструкція, спектральні, енергетичні і експлуатаційні характеристики унікального імітатора вакуумного ультрафіолетового (ВУФ) і ультрам'якого рентгенівського (УМР) випромінювання Сонця, що перекриває діапазон довжин хвиль від 5 до 170 нм. Імітатор призначено для лабораторного моделювання впливу сонячного ВУФ- і УМР-випромінювання на матеріали космічної техніки, а також для наземних випробувань космічних апаратів та їх систем. Фізичний принцип роботи імітатора полягає у збудженні електронним пучком надзвукового струменю суміші газів, яка витікає в вакуумну камеру. Газовий струмінь відкачується криогенним насосом та іншими засобами відкачки. Імітатор дозволяє вводити ВУФ- і УМР-випромінювання через відкритий отвір у високовакуумну камеру (10^{-4} — 10^{-5} Па) у великому тілесному куті і опромінювати об'єкти великих площ. Опроміненість об'єкта, утворювана імітатором, може в 10 разів перевищувати сонячну опроміненість об'єкта на навколосемній орбіті. Наведені приклади впливу випромінювання газоструменевого імітатора на фізико-механічні і триботехнічні характеристики деяких матеріалів космічної техніки.

ВВЕДЕНИЕ

Для получения информации о возможности деградации материалов в космосе необходимо более полно моделировать комплексное воздействие факторов космической среды на материалы при наземных имитационных испытаниях. Настоящая статья посвящена имитации одного из факторов космоса — вакуумного ультрафиолетового (ВУФ) и ультрамягкого рентгеновского (УМР) излучения Солнца (интервал длин волн λ 5÷170 нм), который отсутствует в подавляющем большинстве современных имитационных стендов. Хотя доля энергии ВУФ- и УМР-излучения Солнца в области спектра 5—170 нм очень мала — $2.5 \cdot 10^{-2}$ Вт/м² [13, 14] при суммарной энергии $1.4 \cdot 10^3$ Вт/м², однако благодаря большой энергии квантов (7.3—248 эВ) его воздействие на различные материалы может привести к

заметным изменениям их физических свойств. Кванты таких энергий могут производить фотоионизацию и фотодиссоциацию любых молекул, входящих в состав различных твердых тел. Кроме того, поскольку глубина проникновения ВУФ- и УМР-излучения в различных материалах очень мала (10^{-3} — 10^{-7} см), годовая доза поглощенной энергии в тонком поверхностном слое может быть значительной. Для полимеров это обстоятельство будет приводить к сильным фотохимическим превращениям в тонком слое и, как следствие, к значительному выделению газообразных продуктов ВУФ-фотолиза, уменьшению толщины пленочных материалов и фототравлению поверхности. Изменение микрорельефа и микроструктуры тонких поверхностных слоев при фототравлении вызывает, в свою очередь, изменение оптических и физико-механических свойств материалов.

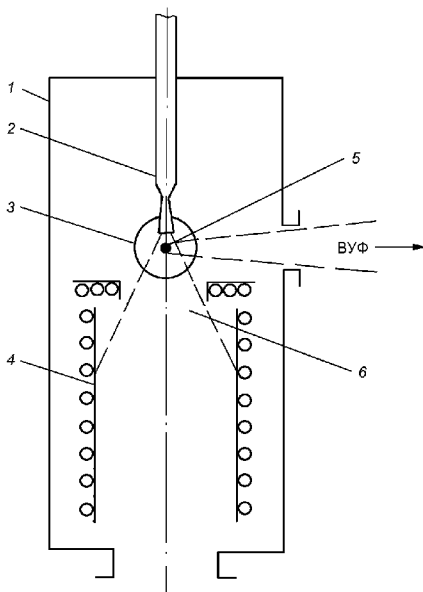


Рис. 1. Схема имитатора с криогенной откачкой струи рабочего газа: 1 — вакуумная камера, 2 — сверхзвуковое сопло, 3 — электронная пушка, 4 — криогенный насос, 5 — электронный пучок (ось пучка перпендикулярна к плоскости рисунка), 6 — сверхзвуковая струя

В связи с вышеизложенным возникла необходимость в создании имитатора ВУФ- и УМР-излучения Солнца для моделирования воздействия этого излучения на материалы, космические аппараты и их системы в имитационных стендах. Соответственно своему назначению имитатор должен удовлетворять следующим основным требованиям:

- распределение энергии его излучения в области спектра 5—170 нм должно быть близким к распределению энергии излучения Солнца;
- принцип работы и конструкция должны быть таковы, чтобы в достаточно большом телесном угле, без окон, вводить ВУФ- и УМР-излучение из имитатора в камеру с высоким вакуумом, где расположен облучаемый объект;
- никакие другие частицы, кроме фотонов, не должны при этом попадать из имитатора на поверхность облучаемого объекта;
- с целью имитации длительного воздействия солнечного излучения на материалы необходимо, чтобы поток энергии излучения имитатора превышал солнечный;
- имитатор должен работать в непрерывном режиме достаточно продолжительное время.

Обзор существующих методов получения электромагнитного излучения ВУФ-диапазона дан в книге

[7]. Проведенный анализ свойств существующих источников ВУФ- и УМР-излучения показал, что ни один из них не удовлетворяет сформулированным выше требованиям [5]. Если для области спектра $\lambda\lambda$ 110—200 нм в качестве имитатора солнечного излучения может с успехом применяться водородная лампа с окном из LiF, то для длин волн $\lambda < 110$ нм создание имитатора связано с большими трудностями. Главными из них являются ввод ВУФ- и УМР-излучения в большом телесном угле через открытое отверстие в камеру со сверхвысоким вакуумом без попадания посторонних частиц из имитатора, а также моделирование солнечного распределения энергии излучения.

Поэтому для решения поставленной выше задачи оказалось целесообразным не усовершенствование уже существующих источников, а разработка имитатора на новом физическом принципе, основанном на возбуждении сверхзвуковой струи смеси газов, вытекающей в вакуум, плотным электронным пучком. В следующем разделе дано подробное описание газоструйного метода получения электромагнитного излучения, впервые предложенного и реализованного во ФТИНТ НАН Украины [2].

ГАЗОСТРУЙНЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ЕГО СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

Суть метода заключается в возбуждении электронами газа, вытекающего в вакуумную камеру в виде ограниченной в пространстве струи, с последующей откачкой газа вакуумными насосами. При этом можно получать электромагнитное излучение в широком диапазоне длин волн, включающем УМР- и ВУФ-области спектра, ближнюю УФ-область, видимую и ИК-области спектра. Уникальный по своим возможностям метод позволяет:

- вводить излучение в высокий вакуум без окон или системы дифференциальной откачки. Эта особенность очень важна для труднодоступных ВУФ- и УМР-областей спектроскопии, для которых не существует механически прочных прозрачных материалов и необходимо вакуумирование всего канала распространения излучения;
- получать излучение не только свободных атомов или молекул, но и их комплексов — кластеров разных размеров от димеров до микрокристаллов;
- вызывать колебательно-вращательное возбуждение молекул, а также последовательное возбуждение электронных оболочек атомов от ва-

лентной до внутренней К-оболочки при изменении энергии электронов от единиц электронвольт (в плазме ВЧ-разряда) до тысяч электронвольт (в электронном пучке).

Благодаря отмеченным выше особенностям газоструйный метод является уникальным для моделирования электромагнитного излучения источников космического пространства и верхней атмосферы Земли.

В настоящее время на базе этого метода созданы:

- имитатор ИК-излучения верхней атмосферы Земли в диапазоне длин волн 2—20 мкм на разных высотах;
- имитатор ВУФ- и УМР-излучения Солнца в диапазоне $\lambda\lambda$ 5—170 нм.

КОНСТРУКЦИЯ ИМИТАТОРА

Схемы имитаторов, в которых реализован газоструйный метод получения ВУФ- и УМР-излучения, представлены на рис. 1—3. Рабочий газ через сверхзвуковое сопло вытекает в вакуумную камеру, образуя ограниченную в пространстве направ-

ленную сверхзвуковую струю. Давление газа в струе составляет около 10^2 Па, в то время как вблизи струи давление газа 10^{-2} — 10^{-3} Па. Электронная пушка формирует электронный пучок, пересекающий струю перпендикулярно к ее оси. Возникающее в месте взаимодействия электронов с газом ВУФ- и УМР-излучение выводится через открытое отверстие в камеру с облучаемым объектом с давлением газа 10^{-4} — 10^{-5} Па. Спектр и интенсивность излучения имитатора определяются рабочим газом, давлением и температурой газа на входе в сопло, а также энергией и током электронного пучка.

К настоящему времени созданы имитаторы трех типов, отличающихся способами откачки рабочего газа струи.

1. Криогенный вариант прибора, в котором поступающий в вакуумную камеру рабочий газ откачивается криогенным конденсационным насосом при температуре 20—25 К. Схематическое изображение этого варианта прибора представлено на рис. 1. Криогенные методы откачки рабочего вещества струи использовались, как правило, в первых разработках прибора, что было обусловлено следу-

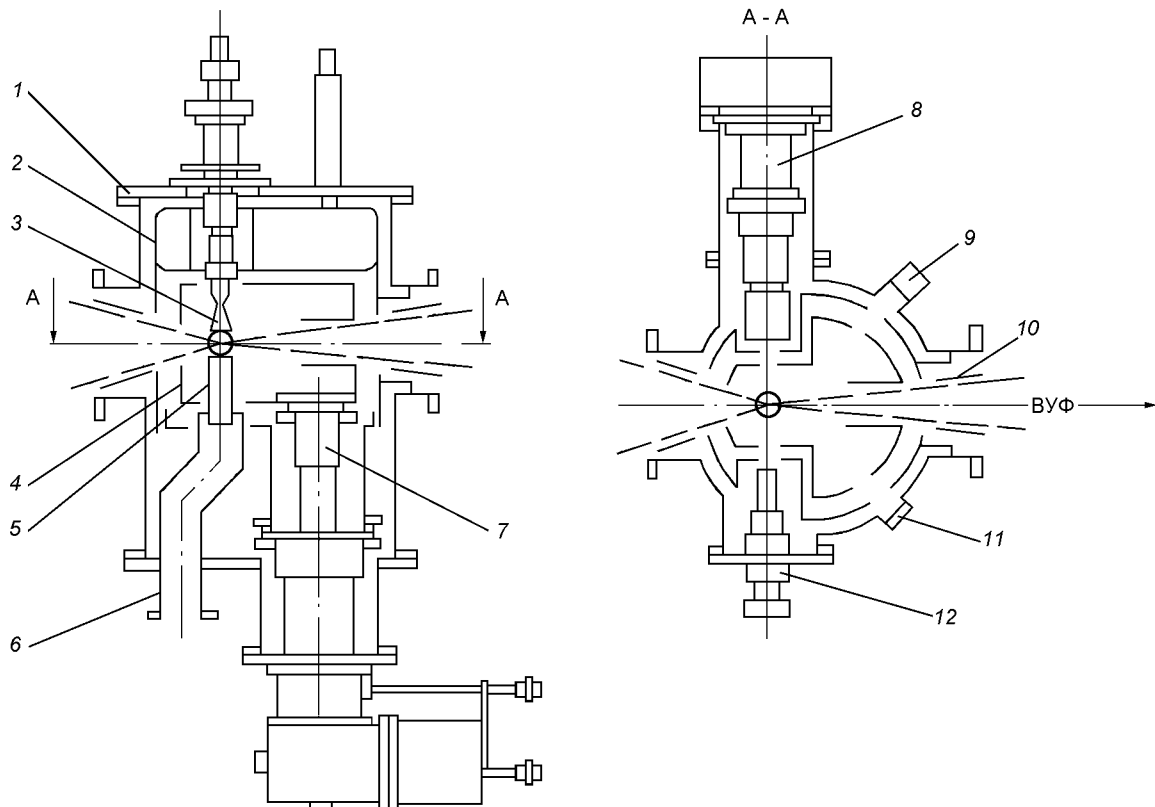


Рис. 2. Схема имитатора с комбинированной откачкой струи рабочего газа: 1 — вакуумная камера, 2 — экран 80 К, 3 — сверхзвуковое сопло, 4 — экран 20 К, 5 — патрубок, 6 — трубопровод откачки двухроторным насосом, 7 — головка холодильной машины, 8 — электронная пушка, 9 — индикатор излучения, 10 — электрический фильтр, 11 — окно, 12 — коллектор электронов

ющей причиной. В рабочем режиме имитатора поток газа в струе составляет около $3 \text{ м}^3/\text{Па}\cdot\text{с}$. Для поддержания в камере имитатора вакуума 10^{-3} Па при указанном потоке газа необходимо использовать насосы с очень большой производительностью ($3 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{с}$). Большую скорость откачки при относительно небольших габаритах могут обеспечить криогенные конденсационные насосы. Однако время непрерывного цикла работы имитатора при этом ограничено. Детальное описание одной из конструкций криогенного варианта имитатора содержится в работе [6]. Криогенный вариант имитатора с гелиевым конденсационным насосом [9] используется в испытательном стенде КИФК в Физико-техническом институте низких температур НАН Украины [1].

2. Комбинированный вариант прибора, в котором применена комбинированная система откачки рабочего газа: основной поток газа (97 %) откачивается через специальный патрубок механическими насосами, а рассеянный от сопла и патрубка газ (3 %) вымораживается на поверхности криогенного конденсационного насоса. Схема прибора, созданного на базе западно-европейской техники для испытательного имитационного стенда КОВЕ (ФРГ), представлена на рис. 2. В комбинированном варианте прибора, в отличие от криогенного, сверхзвуковая струя газа поступает в патрубок 5 и откачивается через трубопровод 6 двухроторным насосом с производительностью $0.1 \text{ м}^3/\text{с}$. Использование механического двухроторного насоса стало возможным благодаря тому, что сверхзвуковой поток газа в патрубке является своеобразным «газовым затвором» между областью с давлением $10^{-2} - 10^{-3} \text{ Па}$, где формируется и возбуждается электронным пучком сверхзвуковая струя газа, и трубопроводом 6 с давлением в несколько десятков паскалей. Откачка рассеянных потоков осуществляется экраном 4, который служит криогенным конденсационным насосом. Экран находится в тепловом контакте с низкотемпературной (второй) ступенью головки гелиевой холодильной машины 7 и охлаждается до температуры 20 К . Для уменьшения тепловой нагрузки на криогенный конденсационный насос применен экран 2, имеющий температуру 80 К . Поскольку рассеянные потоки составляют 3 % от общего расхода газа, то в данной конструкции время непрерывной работы конденсационного насоса, а следовательно и имитатора, значительно увеличивается по сравнению с криогенным вариантом прибора.

Для формирования сверхзвуковой струи газа используется коническое сопло 3. На расстоянии 3.5 мм от среза сопла струя пересекается электронным пучком с энергией 1 кэВ . Электронная пушка

8 располагается на расстоянии 45 мм от оси струи. Ток электронного пучка измеряется коллектором электронов 12.

Излучение из камеры имитатора вводится в камеру стенда КОВЕ через диафрагму с апертурным углом 11° . Для исключения попадания заряженных частиц из имитатора на облучаемые объекты на пути распространения ВУФ- и УМР-излучения установлен электрический фильтр 10, отклоняющий заряженные частицы за пределы потока излучения.

Для контроля за работой имитатора камера 1 имеет два окна. Окно 11 служит для визуального наблюдения светящейся струи, а на втором окне устанавливается индикатор излучения 9, контролирующий стабильность излучения имитатора. В рабочем режиме имитатора давление газа на входе в сопло равно 0.18 МПа , температура 293 К , а поток газа в струе составляет $3.5 \text{ м}^3/\text{Па}\cdot\text{с}$. При таком потоке газа давление в камере имитатора составляет $6 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$, а в вакуумной камере с облучаемым объектом стенда КОВЕ (с производительностью откачных средств $2.2 \text{ м}^3/\text{с}$) — $2 \cdot 10^{-4} \text{ Па}$.

3. Бескриогенный вариант прибора, в котором рабочий газ струи, а также рассеянные из сопла и патрубка потоки газа откачиваются двухроторными и турбомолекулярными насосами. Схематическое изображение основных элементов конструкции этого прибора, созданного для испытательного стенда

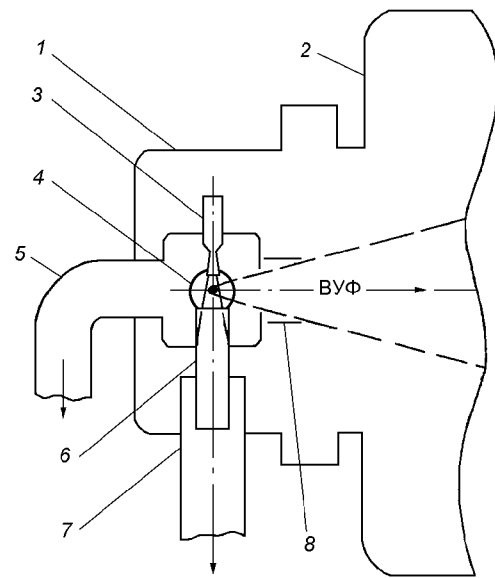


Рис. 3. Схема имитатора с бескриогенной откачкой струи рабочего газа: 1 — форкамера, 2 — вакуумная камера, 3 — сверхзвуковое сопло, 4 — электронная пушка (ось пушки перпендикулярна к плоскости рисунка), 5 — трубопровод откачки двухроторным насосом ($0.15 \text{ м}^3/\text{с}$), 6 — патрубок, 7 — трубопровод откачки двухроторным насосом ($0.5 \text{ м}^3/\text{с}$), 8 — электрический фильтр

ТВУ-100Г (ИКИ РАН, Россия), представлено на рис. 3. Имитатор размещается в форвакуумной камере 1 испытательного стенда. Основной поток газа в имитаторе откачивается через патрубок двухроторным насосом с производительностью $0.5 \text{ м}^3/\text{с}$, а рассеянные потоки газа откачиваются двухроторным насосом со скоростью откачки $0.15 \text{ м}^3/\text{с}$. ВУФ- и УМР-излучение из камеры имитатора вводится в высоковакуумную камеру 2 стенда через диафрагму с апертурным углом 24° . На пути распространения ВУФ- и УМР-излучения установлен электрический фильтр 8, предотвращающий попадание заряженных частиц на образец. В

рабочем режиме имитатора давление в камере испытательного стенда не превышает $2.6 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$ при откачке турбомолекулярными насосами с суммарной скоростью откачки $6 \text{ м}^3/\text{с}$.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА В ОБЛАСТИ СПЕКТРА 5—170 нм

Важным этапом создания имитатора явилось определение режима работы, при котором распределение энергии излучения максимально приближено к солнечному в интервале длин волн 5—170 нм. В

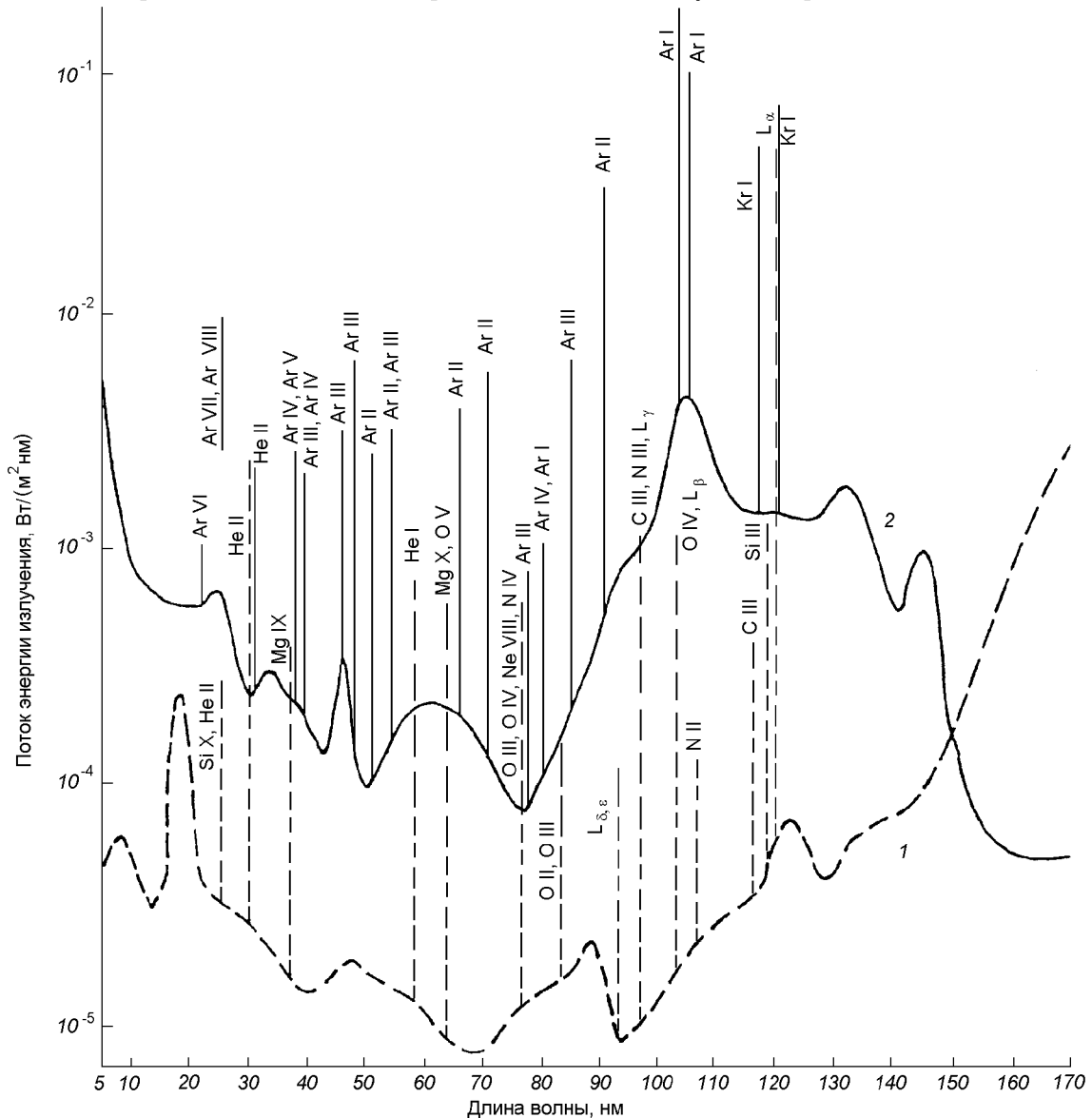


Рис. 4. Спектр Солнца на среднем расстоянии от Земли [13, 14] (кривая 1) и спектр струи смеси газов Ar + 0.5 % He + 0.1 % Kr на расстоянии 0.7 м от оси струи при токе электронного пучка 24 мА с энергией электронов 1 кэВ, потоке рабочего газа $3.5 \text{ м}^3/\text{Па}\cdot\text{с}$ (кривая 2)

Поток энергии излучения Солнца и имитатора на отдельных участках спектра в диапазоне 5—170 нм

λ , нм	Поток энергии излучения, Вт/м ²	
	Солнце [13, 14]	Газоструйный имитатор
170—160	0.011	0.0005
160—150	0.004	0.001
150—140	0.001	0.008
140—130	0.0005	0.015
130—120	0.0051	0.026
120—110	0.0003	0.019
110—100	0.0003	0.064
100—90	0.0002	0.011
90—80	0.0003	0.003
80—70	0.0001	0.002
70—60	0.0001	0.003
60—50	0.0002	0.004
50—40	0.0001	0.006
40—30	0.0005	0.005
30—20	0.0004	0.010
20—10	0.001	0.011
10—5	0.0004	0.021
170—5	0.0252	0.21

первых вариантах имитатора солнечное распределение энергии моделировалось в области 50—150 нм [4], затем в диапазоне 10—170 нм [12] и в настоящей работе — в интервале 5—170 нм. Подробное описание градуировки спектральной аппаратуры и методики измерений содержится в работах [4, 11].

На рис. 4 (кривая 1) по данным работ [13, 14] представлено распределение солнечной энергии в спектральном диапазоне 5—170 нм для спокойного Солнца вблизи среднего уровня его активности: все слабые линии включены в фон; линии, интенсивность которых значительно превышает фон, выделены; близкие линии совмещены, ордината вершины относится к их сумме. Приведенное на рисунке распределение энергии излучения дополняется таблицей. Во втором столбце таблицы даны абсолютные значения потока солнечного излучения за пределами земной атмосферы на среднем расстоянии от Земли до Солнца. Представленные для области спектра 5—130 нм данные [14] отличаются от данных, полученных ранее и позже, примерно в два раза на отдельных участках спектра. Величины потоков, приведенные для диапазона длин волн 130—170 нм [13] определены с погрешностью, не превышающей 150 %.

Проведенные исследования распределения энергии излучения в ВУФ- и УМР-спектрах струй различных смесей газов показывают, что ближе к солнечному подходит распределение энергии излу-

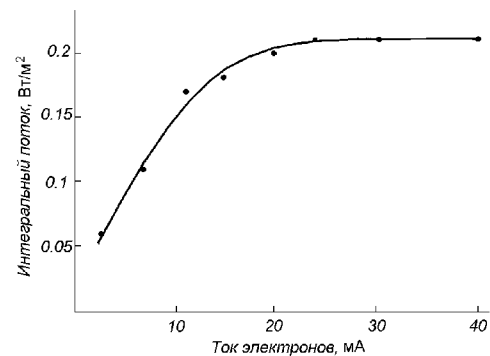


Рис. 5. Зависимость интегрального потока излучения имитатора в области спектра 5—170 нм от тока электронного пучка при энергии электронов 1 кэВ

чения в спектре струи смеси $\text{Ag} + 0.5\% \text{He} + 0.1\% \text{Kr}$. Кривая 2 на рис. 4 и значения в третьей графе таблицы показывают спектральное распределение энергии излучения имитатора на расстоянии 0.7 м от струи при потоке рабочего газа $3.5 \text{ м}^3 \text{ Па/с}$, токе электронного пучка 24 мА и энергии электронов 1 кэВ.

На рис. 5 представлен график зависимости интегрального потока энергии излучения имитатора в области 5—170 нм от тока электронного пучка. Из анализа данных рис. 5 и таблицы следует, что на расстоянии 0.7 м от оси струи отношение облученности на объекте к облученности, создаваемой Солнцем на околоземной орбите может изменяться в пределах от 2 до 10 раз. Нестабильность облученности за время непрерывного цикла работы имитатора составляет 14 %.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ВУФ И УМР ИЗЛУЧЕНИЯ ИМИТАТОРА НА МАТЕРИАЛЫ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

В последнее время вследствие осознания роли ВУФ- и УМР-излучения Солнца в воздействии на материалы космической техники наметился рост исследований в этой области [15]. Представим некоторые результаты, полученные с использованием ВУФ-излучения газоструйного имитатора. Более полные сведения по данному вопросу содержатся в работах [3, 8, 10].

На рис. 6 представлены в виде диаграммы результаты исследований влияния ВУФ-излучения имитатора на работоспособность твердых смазочных покрытий (ТСП) в вакууме [3]. Облучение образцов ТСП проводилось в вакууме 10^{-3} Па при температуре образцов 50 К до энергетических экспозиций, соответствующих 80 и 300 ч пребывания

Состав покрытия	Долговечность, км			
	10^{-1}	10^0	10^1	10^2
MoS ₂ + кремнийорганическое связующее	[График: ступенчатая диаграмма с высотой ~0.5 км]			
MoS ₂ + органическое связующее (эпоксидная смола)	[График: ступенчатая диаграмма с высотой ~1 км]			
MoS ₂ + неорганическое связующее (силикат натрия)	[График: ступенчатая диаграмма с высотой ~10 км]			

□ - Без облучения
 ▨ - Облучение, соответствующее 80-ч пребыванию на орбите
 ▩ - Облучение, соответствующее 300-ч пребыванию на орбите

Рис. 6. Влияние ВУФ-облучения на долговечность твердых смазочных покрытий в вакууме [3]

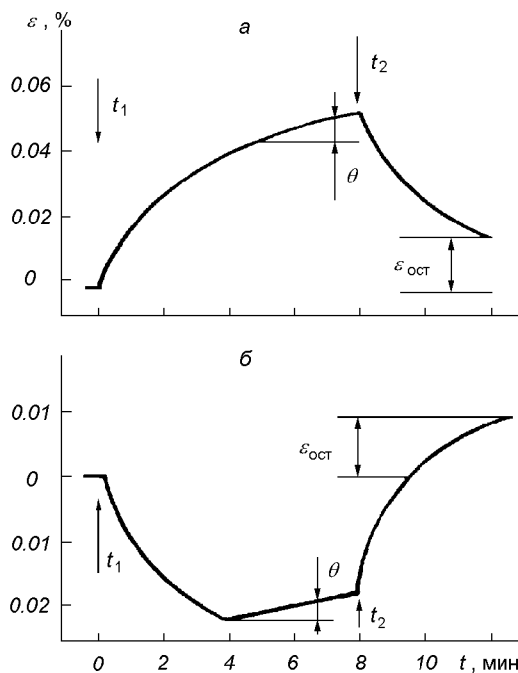


Рис. 7. Зависимость деформации от времени облучения (в интервале $t_1 \leq t \leq t_2$) и последующая релаксация деформации при прекращении облучения (в интервале $t > t_2$): а — полиэтилен; б — резина [10]

на орбите. Триботехнические испытания проводились на установке УТИ-1 по схеме «сфера-плоскость» при следующих условиях: давление 10^{-5} Па; скорость скольжения 0.82 м/с; удельная нагрузка 176 кг/мм²; температура 293 К. Показано, что предварительное (до начала трения) ВУФ-облуче-

ние оказывает неоднозначное влияние на триботехнические характеристики ТСП со связующими различной природы в вакууме. Коэффициент трения практически не зависит от воздействия ВУФ-облучения, однако долговечность ТСП с кремнийорганическим и органическим (эпоксидная смола) связующими уменьшается, а с неорганическим связующим (силикат натрия) — наоборот — значительно увеличивается. При этом эффект повышения долговечности ТСП тем больше, чем длительнее ВУФ-облучение.

В качестве другого примера на рис. 7 демонстрируется влияние ВУФ-облучения на ползучесть полимеров: полиэтиленовой пленки толщиной 0.04 мм (а) и резиновой пленки толщиной 0.07 мм (б). Образцы облучались в высоковакуумной камере с давлением 10^{-4} Па в спектральной области 50—150 нм интегральным потоком энергии $5 \cdot 10^2$ Вт/м². Деформация производилась при постоянной нагрузке 3.9 МПа для полиэтилена и 0.44 МПа для резины. Облучение включалось в момент времени t_1 при насыщении временной зависимости деформации. Как следует из рис. 7, облучение вызывает дополнительную деформацию, положительную для полиэтилена и отрицательную для резины. При прекращении облучения деформация релаксирует к ненулевому, остаточному уровню $\varepsilon_{ост}$.

Рассмотренные в данной статье конструкции газоструйных источников излучения, основанные на использовании газоструйного метода получения электромагнитного излучения, позволяющие в наземных лабораторных условиях имитировать коротковолновое излучение Солнца в ВУФ- и УМР-диапазонах спектра. Приведенные примеры использования имитаторов подтверждают эффективность воздействия излучения этих диапазонов спектра на материалы космической техники.

1. Абраимов В. В., Негода А. А., Завалишин А. П., Колыбаев Л. К. Комплексная имитация факторов космического пространства // Косміч. наука і технологія.—1995.—1, № 2-6.—С. 76—78.
2. А. с. 1278611 СССР, МКИ⁴ G 01 J 3/10. Способ получения спектров излучения инертных газов в вакуумной ультрафиолетовой области / Э. Т. Верховцева, Е. А. Бондаренко, Ю. С. Доронин. — Оpubл. 07.08.86, Бюл. № 47.
3. Веркин Б. И., Верховцева Э. Т., Курилов Г. В. и др. Влияние ВУФ-излучения на твердосмазочные покрытия // Поведение материалов в условиях вакуума и низких температур: Сб. тр. — Харьков: Физ.-техн. ин-та низких температур АН УССР, 1972.—С. 39—41.
4. Верховцева Э. Т., Кравченко А. В., Осыка В. С., Фогель Я. М. Моделирование распределения энергии излучения Солнца в области спектра 500—1500 Е // Косміч. дослід.—1970.—8, вып. 1.—С. 140—145.
5. Верховцева Э. Т., Яременко В. И. О возможности использования источников вакуумного ультрафиолетового излуче-

- ния в целях космического материаловедения // Космич. исслед. на Украине.—1973.—Вып. 3.—С. 66—80.
6. Верховцева Э. Т., Яременко В. И., Погребняк П. С., Овечкин А. Е. Малогабаритный вариант газоструйного источника вакуумного ультрафиолета // Приборы и техн. эксперимента.—1976.—№ 4.—С. 210—212.
 7. Зайдель А. Н., Шрейдер Е. Я. Вакуумная спектроскопия и ее применение. — М.: Наука, 1976.—431 с.
 8. Карин М. Г., Сидорин К. К., Шестаков И. Б. Изменение оптических свойств карбидов переходных металлов под воздействием ВУФ облучения // VIII Всесоюз. конф. по физике ВУФ-излучения и взаимодействию излучения с веществом: Тр. конф. — Иркутск, 1989.—Т. 1.—С. 147—148.
 9. Стрельников В. П., Телепнев В. Д. Малогабаритный гелиевый конденсационный насос для откачки сверхзвуковой струи газа // Приборы и техн. эксперимента.—1978.—№ 4.—С. 254—255.
 10. Строилов В. С., Бочаров К. Ш., Удовенко В. Ф. Влияние ВУФ излучения на ползучесть полимеров // Всесоюз. семинар по физике ВУФ-излучения и взаимодействию излучения с веществом: Тр. семинара. — Л., 1978.—С. 207—209.
 11. Ткаченко А. А., Гнатченко Е. В., Верховцева Э. Т. Определение интенсивности поляризационного тормозного излучения в ультрамягкой рентгеновской области спектра в абсолютных единицах // Журн. техн. физики.—1995.—64.—С. 136—141.
 12. Bondarenko E. A., Verkhovtseva E. T., Gnatchenko E. V. et al. Simulation of solar VUV and soft X-ray radiation // IVth Intern. conf. on Laboratory Research for Planetary Atmospheres: Program of Invited Papers and Contributed Posters. — Munich, 1992.—P. 26.
 13. Detwiler C. R., Garrett D. L., Purcell J. D., Tousey R. The intensity distribution in the ultraviolet solar spectrum // Ann. geophys. AEEPA.—1961.—17, N 3.—P. 9—18.
 14. Hinteregger H. E., Hall L. A. and Schmidtke G. Solar XUV radiation and neutral particle distribution in July 1963 thermosphere // Space Res.—1965.—V.—P. 1175—1190.
 15. Materials in Space Environment: Proc. of the 7th Intern. Symp., — Toulouse, France, 16—20 June.—1997 (SP-399, August 1997).

**GAS JET SIMULATOR OF THE SOLAR
VUV AND USX RADIATION AND THE EFFECT
OF ITS RADIATION ON SOME MATERIALS**

E. T. Verkhovtseva, V. I. Yaremenko, and V. D. Telepnev

The paper is concerned with the design and spectral, energetic, and operational features of a unique simulator of the solar vacuum ultraviolet (VUV) and ultra-soft X-ray (USX) radiation covering the wavelength range from 5 to 170 nm. The simulator is destined to investigate the effect of solar VUV and USX radiation on space technology materials as well as on the efficiency of space apparatuses and their systems. The electromagnetic radiation is emitted by a supersonic jet of a gas mixture flowing out into a vacuum chamber, where it is excited by an electron beam. The gas jet is removed by a cryogenic pump and other pumping means. The simulator allows the VUV and USX radiation to be injected through an aperture into a high-vacuum chamber (10^{-6} — 10^{-7} mm Hg) within a large solid angle and to irradiate objects of large area. The irradiance produced by the simulator may be ten times greater than the solar irradiance in an Earth satellite orbit. We give some examples of the effect of the simulated solar VUV and USX radiation on physico-mechanical and tribotechnical characteristics of some space technology materials.