



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2010154310/11, 30.12.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
30.12.2010

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 30.12.2010

(43) Дата публикации заявки: 10.07.2012 Бюл. № 19

(45) Опубликовано: 10.12.2012 Бюл. № 34

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2395072 C1, 20.07.2010. SU 1839875 A1, 20.06.2006. RU 2208564 C1, 20.07.2003. RU 2182105 C2, 10.05.2002. JP 2006168530 A, 29.06.2006. ГОСТ Р 50109-92. МАТЕРИАЛЫ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ. МЕТОД ИСПЫТАНИЯ НА ПОТЕРЮ МАССЫ И СОДЕРЖАНИЕ ЛЕТУЧИХ КОНДЕНСИРУЮЩИХСЯ ВЕЩЕСТВ ПРИ ВАКУУМНО-ТЕПЛОМ ВОЗДЕЙСТВИИ. - М.: ГОССТАНДАРТ РОССИИ, 1992.

Адрес для переписки:

105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦЗИС, директору (для В.М. Башкова, РЛ6)

(72) Автор(ы):

**Башков Валерий Михайлович (RU),
Береговский Владимир Васильевич (RU),
Калашников Евгений Валентинович (RU),
Михалев Павел Андреевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана" (RU)

(54) СПОСОБ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОТЕРИ МАССЫ И СОДЕРЖАНИЯ ЛЕТУЧИХ КОНДЕНСИРУЮЩИХСЯ ВЕЩЕСТВ ПРИ ВАКУУМНО-ТЕПЛОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ В СОЧЕТАНИИ С ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

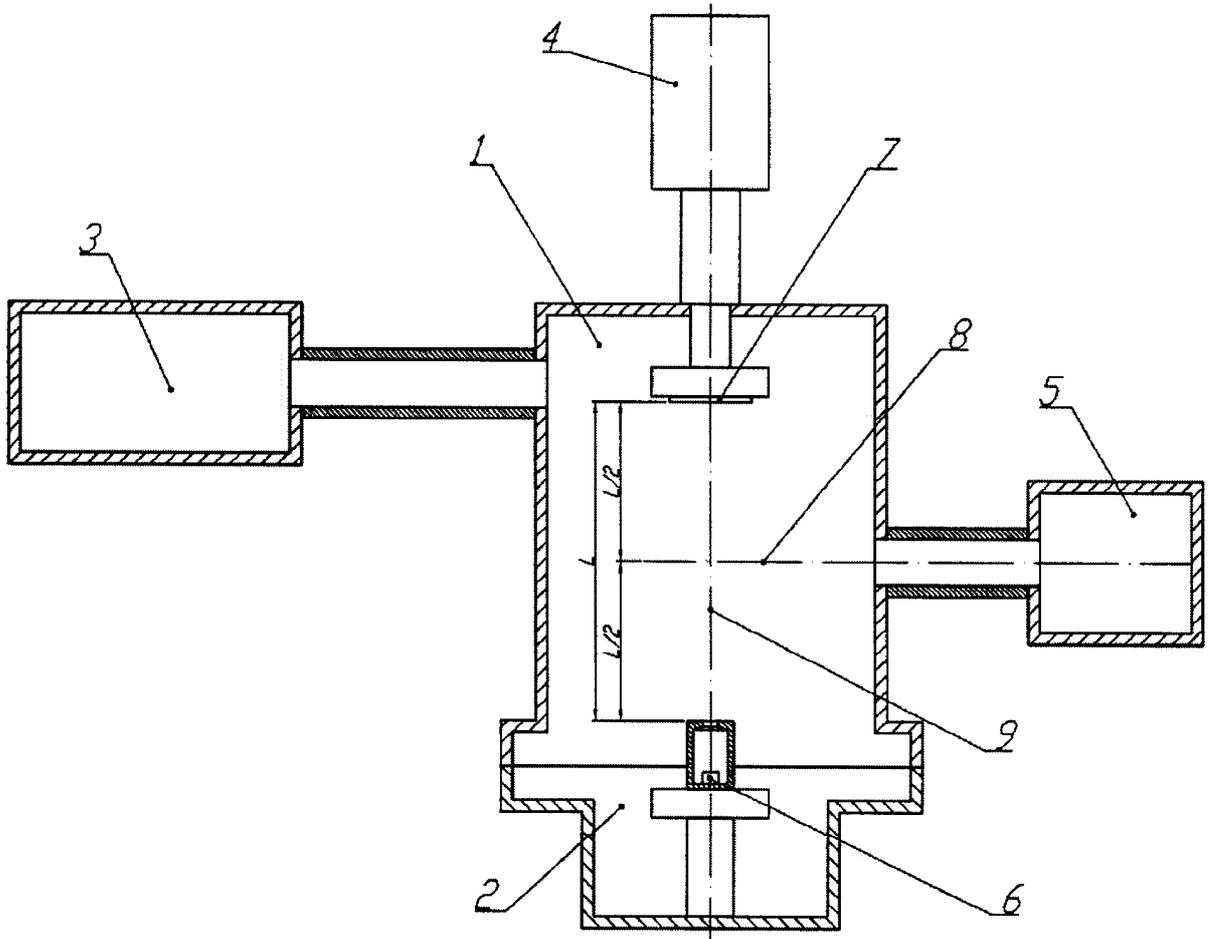
(57) Реферат:

На образцы материалов, помещенные в изотермические контейнеры, осуществляют термовакуумное воздействие при определенной температуре и улавливают выделившиеся из образцов летучие конденсирующиеся вещества конденсирующими пластинами. Потерю массы определяют по разности масс образца до и после воздействия, аналогично определяют и содержание летучих конденсирующихся веществ. Наряду с термовакуумным воздействием образцы дополнительно

подвергают высокоэнергетическому излучению, а оценку загрязняющей способности продуктов газовой выделенной материала делают по сплошности и толщине загрязняющих пленок на оптических поверхностях, химическому составу осадка и массе сконденсированного осадка. Термовакуумная установка состоит из рабочей вакуумной камеры, шлюзовой камеры загрузки образцов материалов, шлюзовой камеры загрузки и предварительной обработки образцов-имитаторов, оптической поверхности

шлюзовой камеры загрузки/выгрузки герметичного контейнера для транспортировки образцов-имитаторов оптической поверхности. В состав установки входят дополнительно термостатирующее устройство образца-имитатора и излучатель ВУФ и УФ диапазонов, расположенный так,

что ось ВУФ и УФ излучения перпендикулярна оси «образец материала - образец-имитатор оптической поверхности» и пересекает отрезок этой оси между образцами примерно посередине. Повышается достоверность оценки пригодности материалов для использования в условиях открытого космоса. 2 н.п. ф-лы, 1 ил.



Фиг.1

RU 2468970 C2

RU 2468970 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2010154310/11, 30.12.2010**(24) Effective date for property rights:
30.12.2010

Priority:

(22) Date of filing: **30.12.2010**(43) Application published: **10.07.2012 Bull. 19**(45) Date of publication: **10.12.2012 Bull. 34**

Mail address:

**105005, Moskva, ul. 2-ja Baumanskaja, 5, MGTU
im. N.Eh. Baumana, TsZIS, direktoru (dlja V.M.
Bashkova, RL6)**

(72) Inventor(s):

**Bashkov Valerij Mikhajlovich (RU),
Beregovskij Vladimir Vasil'evich (RU),
Kalashnikov Evgenij Valentinovich (RU),
Mikhalev Pavel Andreevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie
vysshego professional'nogo obrazovanija
"Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij
universitet imeni N.Eh. Baumana" (RU)**

(54) **METHOD FOR ESTIMATING WEIGHT LOSS AND CONTENT OF VOLATILE CONDENSING SUBSTANCES AT HEAT-VACUUM EFFECTS ON NONMETALLIC MATERIALS IN COMBINATION WITH HIGH-POWER RADIATION, AND DEVICE TO THIS END**

(57) Abstract:

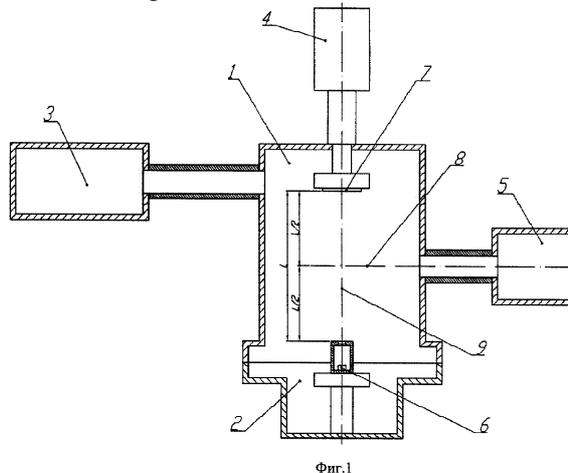
FIELD: transport, package.

SUBSTANCE: specimens of materials arranged in isothermal containers are subjected to thermal vacuum effects at definite temperature to catch released volatile condensing substances by condensing plates. Weight loss is determined from difference in specimen weights before and after said effects. Similarly, content of volatile condensing substances is defined. Besides, specimens are subjected to high-power radiation. Material gas release product polluting capacity is estimated by integrity and thickness of polluting films on optical surfaces, deposition chemical composition and condensed deposit weight. Thermal vacuum plant consists of working vacuum gate chamber, material specimens loading gate chamber, imitator specimen loading and preprocessing gate chamber, optical surface of tight container loading/unloading gate chamber for transportation optical surface imitator specimens. Additionally, proposed plant comprises

thermostatic device of imitator specimen and VUV- and UV-band radiator arranged so that VUV and UV radiation axis is perpendicular to axis "material specimen - specimen - optical surface imitator" to cross length of said axis approximately at its center.

EFFECT: higher validity.

2 cl, 1 dwg



Изобретение относится к способу оценки потери массы и содержания летучих конденсирующихся веществ, образующихся при нагреве неметаллических материалов до определенной температуры в вакууме и воздействии на продукты газовой выделенной высокоэнергетического излучения.

5 В настоящее время исходя из технико-экономических соображений большинство вновь разрабатываемых космических аппаратов конструируются в бескорпусном исполнении. При этом воздействию космических факторов, таких как высокий вакуум, циклически меняющаяся температура, высокоэнергетические излучения, поток
10 микрометеоритов и др., подвергаются все блоки космического аппарата, расположенные вне гермоотсеков. Это приводит к увеличению количества продуктов газовой выделенной и сублимации различных материалов, т.е. к увеличению плотности собственной внешней атмосферы (СВА). Осаждение частиц СВА приводит к ряду
15 негативных последствий, но прежде всего, к снижению светопропускания и появлению ложных срабатываний оптических приборов. Наиболее актуальна эта проблема для космических аппаратов, снабженных оптическими приборами с охлаждаемыми светочувствительными элементами. В этом случае возникают более благоприятные условия осаждения на поверхности светочувствительных элементов паразитных
20 пленок, обладающих более плотной структурой и состоящих из большого числа органических частиц и радикалов.

Существует несколько методов решения данной проблемы. Их можно разделить на две основные группы. Методы первой группы преследуют цель снижения роста либо
25 удаления существующих загрязняющих пленок на оптических поверхностях. Методы второй группы направлены на снижение плотности СВА за счет уменьшения газовой выделенной и сублимации материалов. К методам этой группы относят метод оценки и отбора неметаллических материалов по степени газовой выделенной.

Известен способ термовакуумных испытаний космического аппарата (патент РФ
30 №2208564, 2001 г.). Способ заключается в размещении аппарата в вакуумной камере, облучении его наружных поверхностей тепловым потоком, имитирующим натуральный тепловой поток, созданный солнечной радиацией, и изменении ориентации аппарата относительно потока.

Основным недостатком способа является то, что испытаниям подвергают уже
35 сконструированный и произведенный космический аппарат. Целесообразнее же оценивать газовой выделенной и содержание летучих конденсирующихся веществ только самих неметаллических материалов, и, основываясь на результатах данной оценки, проводить дальнейший отбор материалов для космического аппарата на этапах
40 конструкторской и технологической проработки. Это позволяет заранее снизить величину газовой выделенной отдельных блоков и космического аппарата в целом.

Еще одним недостатком способа является то, что моделируют только
инфракрасную часть спектра солнечного излучения. При этом не учитывается влияние
45 высокоэнергетической коротковолновой части спектра солнечного излучения.

Наиболее близким к предлагаемому способу является способ определения степени
45 газовой выделенной неметаллических материалов по двум критериям: потеря массы и количество летучих конденсирующихся веществ. Данный способ регламентируется ГОСТом Р 50109-92 «Материалы неметаллические. Метод испытания на потерю массы
50 и содержание летучих конденсирующихся веществ при вакуумно-тепловом воздействии». Данный стандарт распространяется на неметаллические материалы наружных поверхностей изделий космической техники, подвергающиеся термовакуумному воздействию и загрязняющие продуктами газовой выделенной

расположенные близко к ним элементы изделий и окружающую среду. Сущность способа заключается в термовакуумном воздействии при определенной температуре на образцы материалов, помещенные в специальные изотермические контейнеры, и в улавливании выделившихся из образцов летучих конденсирующихся веществ
5 охлажденными поверхностями (конденсирующими пластинами). Потерю массы определяют по разности масс образца до и после воздействия. Аналогично определяют и содержание летучих конденсирующихся веществ. Способ позволяет определить количество вещества, оседающего на единицу поверхности
10 конденсирующей пластины, что дает возможность оценить загрязняющую способность продуктов газовой выделенной материалов.

Масса и размеры образцов материалов выбирают таким образом, чтобы обеспечивать выход летучих конденсирующихся веществ из образца и позволить свободно поместить их в контейнеры для испытаний. Подготовка образцов
15 материалов включает в себя кондиционирование в атмосфере с постоянной относительной влажностью в эксикаторе или аналогичной камере для стабилизации массы.

При подготовке к испытаниям первый раз взвешивают пустой чистый и сухой
20 контейнер, а второй раз - контейнер с помещенным в нем образцом материала. Массу образца определяют как разность между массой контейнера с образцом и массой пустого контейнера. Если время откачки вакуумной камеры с нагревательным блоком превышает пороговое значение, то это означает, что для данной вакуумной системы слишком велика газовая нагрузка. В этом случае необходимо либо уменьшить число
25 одновременно испытываемых образцов, либо использовать более производительную вакуумную систему. После нагрева образцы выдерживают 24 часа. Конденсирующие пластины взвешивают на микроаналитических весах сразу же после выемки из камеры. Контейнеры с образцами материалов взвешивают после охлаждения в
30 эксикаторе с осушителем до комнатной температуры.

Отбор материалов производят по следующим критериям:

- для наружных поверхностей изделий космической техники, подвергающихся термовакуумному воздействию, рекомендуется применять неметаллические материалы, имеющие общую потерю массы не более 1,0% и содержание летучих
35 конденсирующихся веществ не более 0,1%;

- при превышении установленных норм применение материала может быть рекомендовано только в случае невозможности замены его другим материалом с меньшим газовой выделением;

40 - непригодным для наружных поверхностей изделий также следует считать материал, если при газовой выделении, не превышающем указанные значения, из него выделяются окрашенные продукты, которые могут влиять на эксплуатационные характеристики элементов и приборов изделий;

45 - в исключительных случаях (при отсутствии соответствующего материала или снятия материала с производства без альтернативной замены) предприятие-разработчик изделий может устанавливать свои критерии газовой выделенной.

Недостатками способа определения степени газовой выделенной неметаллических материалов по ГОСТ Р 50109-92 является моделирование лишь двух факторов космического пространства: вакуума и высокой температуры. В реальных условиях открытого космоса действует еще ряд факторов, самый значимый из которых - высокоэнергетические излучения ультрафиолетового (УФ) и вакуумного-
50 ультрафиолетового (ВУФ) диапазонов. Помимо этого способ предусматривает

использование металлических конденсирующих пластин с температурой $(298 \pm 0,5)$ К $[(25 \pm 0,5)^\circ\text{C}]$. Однако проблема загрязнения наиболее актуальна для охлаждаемых светочувствительных поверхностей оптических приборов нового поколения, потому что конденсация продуктов СВА происходит более интенсивно на тех частях поверхности, температура которых ниже средней температуры остальной поверхности аппарата.

Еще одним недостатком указанного способа является отсутствие информации о параметрах осадка на конденсирующих пластинах, что не позволяет сделать достоверные выводы о степени загрязнения поверхности с точки зрения оптических свойств.

Для осуществления способа необходима соответствующая аппаратура. Для реализации способа термовакуумных испытаний космического аппарата (патент РФ №2208564, 2001 г.) разработана установка для проведения термовакуумных испытаний космического аппарата. Установка состоит из вакуумной камеры с размещенным внутри нее поворотным устройством для установки космического аппарата и имитатора солнечного излучения. Главным недостатком установки при реализации предлагаемого способа является то, что она предназначена для испытаний космических аппаратов в сборе. Также к ограничениям установки можно отнести то, что солнечное излучение моделируют инфракрасными нагревателями, а значит лишь в его узкой низкоэнергетической области спектра.

Наиболее близко для устройства реализации предлагаемого способа подходит специальная установка для определения степени газовой выделенности неметаллических материалов по двум критериям: потеря массы и количество летучих конденсирующихся веществ - по ГОСТ Р 50109-92. Данное устройство состоит из рабочей вакуумной камеры, в которой размещен блок испытательных контейнеров, из безмасляной системы откачки и стойки управления.

Блок контейнеров представляет собой медный блок, снабженный омическим нагревателем. В медном блоке высверлены отверстия для размещения испытательных контейнеров с находящимися в них образцами. Мощность, подводимую к омическому нагревателю, регулируют по показанию термопары. Регулятор температуры должен обеспечить температуру медного блока (398 ± 1) К $[(125 \pm 1)^\circ\text{C}]$.

Испытательный контейнер представляет собой тонкостенный стаканчик из нержавеющей стали по ГОСТ 19904 или из другого материала, не взаимодействующего с испытуемым материалом, с конической крышечкой; имеющей отверстие диаметром 6,5 мм, через которое пары, выделяющиеся из образца, должны попадать в коллекторную камеру и осаждаться на съемную конденсирующую пластину из нержавеющей стали (допускается применение стеклянных по ГОСТ 3514, кварцевых по ГОСТ 15130 пластин или пластин из других материалов, имитирующих загрязняемые поверхности, что оговаривают в рабочем журнале и протоколе испытаний). Охлаждение конденсирующих пластин обеспечивают пропусканием термостатированной по ГОСТ 2874 воды через блок охлаждения, прижатый к конденсирующим пластинам. Контроль и поддержание заданной температуры производят с помощью контактного термометра.

Ограничением описанной установки является отсутствие устройств, моделирующих солнечное излучение в различных диапазонах спектра.

Задачей изобретения способа является способ оценки потери массы и содержания летучих конденсирующихся веществ, образующихся при моделировании воздействия факторов космического пространства, что приводит к повышению достоверности

оценки пригодности материалов для использования в условиях открытого космоса.

Поставленная задача заключается в значительном расширении ассортимента имитируемых факторов космического пространства. Так, дополнительно к факторам глубокого вакуума и высокой температуры, моделируют воздействие такого фактора космического пространства, как высокоэнергетические ионизирующие излучения УФ и ВУФ диапазонов. Причем воздействию излучения должна подвергаться не поверхность газовыделяющего материала, а газовая среда, образованная продуктами газовой выделения.

Задача решается тем, что способ оценки потери массы и содержания летучих конденсирующихся веществ при вакуумно-тепловом воздействии заключается в термовакуумном воздействии при определенной температуре на образцы материалов, помещенные в специальные изотермические контейнеры, и в улавливании выделившихся из образцов летучих конденсирующихся веществ охлажденными поверхностями (конденсирующими пластинами). Потерю массы определяют по разности масс образца до и после воздействия, аналогично определяют и содержание летучих конденсирующихся веществ. Способ отличается тем, что наряду с термовакуумным воздействием образцы дополнительно подвергают высокоэнергетическому излучению, а оценку загрязняющей способности продуктов газовой выделения материала делают по геометрическим параметрам загрязняющих пленок (сплошности и толщине) на оптических поверхностях, химическому составу осадка и массе сконденсированного осадка. В качестве конденсирующих пластин используют пластины из стекла, применяемого для наружных линз и зеркал оптических приборов, температуру которых варьируют в пределах от минус 30 до плюс 120°C. Область между контейнером с газовыделяющим образцом и конденсирующей пластиной облучают вакуумным ультрафиолетовым излучением с диапазоном длин волн от 115 до 320 нм и спектральной плотностью мощности излучения от 10^{-10} Вт/см²·нм до от 10^{-5} Вт/см²·нм.

Пример осуществления способа. Область между контейнером с газовыделяющим образцом и конденсирующей пластиной облучают ВУФ излучением. Таким образом, моделируют фактор открытого космического пространства - воздействие высокоэнергетических излучений УФ и ВУФ диапазонов. Это позволяет ионизировать продукты газовой выделения, что повышает их реакционную способность и, как следствие, способность образовывать загрязняющие пленки на поверхности конденсирующей пластины. Для создания ионизирующего излучения используют отдельный источник, представляющий собой отпаянную лампу с окном для вывода излучения, расположенную отдельно от основного объема рабочей вакуумной камеры. Источник имитирует солнечное коротковолновое облучение в диапазоне длин волн от 115 до 320 нм в постоянных по спектральной облученности режимах с величиной воздействующих энергетических потоков, эквивалентных солнечному облучению вблизи орбиты Земли, где спектральная плотность мощности излучения меняется от 10^{-10} Вт/см²·нм до 10^{-5} Вт/см²·нм.

При реализации предлагаемого способа не предусмотрены испытания материалов на радиационную стойкость, поэтому задачей изобретения устройства является обеспечение отсутствия облучения самого газовыделяющего материала и образца-имитатора.

Для решения этой задачи и осуществления способа разработана термовакуумная установка, состоящая из рабочей вакуумной камеры, шлюзовой камеры загрузки образцов материалов, шлюзовой камеры загрузки и предварительной обработки

образцов-имитаторов, оптической поверхности шлюзовой камеры загрузки/выгрузки герметичного контейнера для дальнейшей транспортировки образцов-имитаторов оптической поверхности. Установка отличается тем, что в ее состав входят
 5 дополнительно термостатирующее устройство образца-имитатора и излучатель ВУФ и УФ диапазонов, причем излучатель ВУФ и УФ диапазонов расположен так, что ось ВУФ и УФ излучения перпендикулярна оси «образец материала - образец-имитатор оптической поверхности» и пересекает отрезок этой оси между образцами примерно посередине. При этом диаметр ионизационного потока меньше расстояния между
 10 образцом материала и образцом-имитатором на 15...25%, что при известной расходимости потока ВУФ излучения обеспечивает отсутствие облучения образца материала при наиболее полном облучении газового облака.

Фиг.1 - конструктивная схема предлагаемой термовакуумной установки. Установка
 15 состоит из рабочей вакуумной камеры 1, шлюзовой камеры загрузки образцов материалов 2, шлюзовой камеры 3 загрузки и предварительной обработки образца-имитатора оптической поверхности (далее образец-имитатор) и шлюзовой камеры загрузки/выгрузки герметичного контейнера для дальнейшей транспортировки образцов-имитаторов к месту дальнейших исследований, термостатирующего
 20 устройства 4; комплекта 5 излучателей ВУФ и УФ диапазонов. Также на фиг.1 обозначены образец материала 6; образец-имитатор 7; воображаемая ось ВУФ и УФ излучения 8 и воображаемая ось «образец материала - образец-имитатор» 9.

В состав установки также входит система высоковакуумной откачки на базе форвакуумного насоса и высоковакуумного насоса, обеспечивающих в камере
 25 предельный вакуум $1,33 \cdot 10^{-7}$ Па. Необходимый температурный режим (от 243 до 393) К [(минус 30 до плюс 120)°С] образца-имитатора 7 поддерживают косвенным путем через подачу жидкого теплоносителя от термостатирующего устройства 4. Диапазон температур соответствует температурному режиму приборов, работающих в условиях
 30 открытого космоса. Установка оборудована комплектом 5 излучателей ВУФ и УФ диапазонов длин волн от 115 до 320 нм и спектральной плотностью мощности излучения от 10^{-10} Вт/см²·нм до от 10^{-5} Вт/см²·нм. Аналитический набор оборудования включает: масс-спектрометр для количественного и качественного (вещества с массой
 35 до 400 а.е.) анализа состава остаточной атмосферы в процессе испытаний.

Работа установки. В рабочей камере постоянно поддерживают высокий вакуум. Загрузку материалов осуществляют через «Шлюз загрузки материалов». Тигли с веществами устанавливают в посадочные места специальной кассеты круглой формы. Кассета оборудована нагревателями и контрольными термодатчиками. В процессе
 40 загрузки кассета имеет температуру (от 298 до 308) К [(от 25 до 35)°С] для предотвращения конденсации влаги из атмосферы. Образец-имитатор устанавливают в специальное гнездо охлаждаемой/нагреваемой пластины, расположенной в «Шлюзе для загрузки образцов имитаторов» и фиксируют специальными зажимами. После загрузки шлюз закрывают и откачивают до давления $1,33 \cdot 10^{-1}$ Па. В процессе откачки
 45 температура пластины может увеличиваться до 423 К [150°С] для удаления с поверхности образца-имитатора и самой пластины адсорбированных на воздухе газов. Кроме того, образец-имитатор может быть обработан в тлеющем разряде для удаления с поверхности адсорбированных веществ. По достижению предельного
 50 давления шлюз открывают и пластину с образцом перемещают в рабочую камеру. Вакуум в рабочей камере доводят до предельного значения $1,33 \cdot 10^{-4}$ Па. После этого кассету с материалами приводят в движение, нагревают до установленной температуры и проводят имитационный моделирующий эксперимент. В процессе

эксперимента осуществляют измерение качественного и количественного состава остаточной атмосферы.

После проведения эксперимента пластину с образцом-имитатором возвращают в шлюзовую камеру, после чего затвор закрывают. В «Шлюз для загрузки образцов-имитаторов» через «Шлюз для загрузки контейнеров» вводят контейнер, в который помещают образец-имитатор. После возврата контейнер закрывают и в результате напуска атмосферы в шлюз герметизируют.

Формула изобретения

1. Способ для оценки потери массы и содержания летучих конденсирующихся веществ при вакуумно-тепловом воздействии на неметаллические материалы, заключающийся в термовакуумном воздействии при определенной температуре на образцы материалов, помещенные в изотермические контейнеры, и в улавливании выделившихся из образцов летучих конденсирующихся веществ охлажденными поверхностями (конденсирующими пластинами), потерю массы определяют по разности масс образца до и после воздействия, аналогично определяют и содержание летучих конденсирующихся веществ, отличающийся тем, что наряду с термовакуумным воздействием образцы дополнительно подвергают высокоэнергетическому излучению, а оценку загрязняющей способности продуктов газовой выделения материала делают по геометрическим параметрам загрязняющих пленок (сплошности и толщине) на оптических поверхностях, химическому составу осадка и массе сконденсированного осадка; в качестве конденсирующих пластин используют пластины из стекла, применяемого для наружных линз и зеркал оптических приборов, температуру которых варьируют от минус 30 до плюс 120°С; область между контейнером с газовыделяющим образцом и конденсирующей пластиной облучают вакуумным ультрафиолетовым излучением с диапазоном длин волн от 115 до 320 нм и спектральной плотностью мощности излучения от 10^{-10} до 10^{-5} Вт/(см²·нм).

2. Устройство для осуществления способа по п.1, состоящее из рабочей вакуумной камеры, шлюзовой камеры загрузки образцов материалов, шлюзовой камеры загрузки и предварительной обработки образцов-имитаторов оптической поверхности, шлюзовой камеры загрузки/выгрузки герметичного контейнера для дальнейшей транспортировки образцов-имитаторов оптической поверхности, отличающееся тем, что в его состав входят дополнительно термостатирующее устройство образца-имитатора и излучатель вакуумного ультрафиолетового (ВУФ) и ультрафиолетового (УФ) диапазонов, причем излучатель ВУФ- и УФ-диапазонов расположен так, что ось ВУФ- и УФ-излучения перпендикулярна оси «образец материала - образец-имитатор оптической поверхности» и пересекает отрезок этой оси между образцами примерно посередине.