

**ЯВЛЕНИЯ НАВЕДЕННОЙ РАДИАЦИИ СОБСТВЕННОЙ
ВНЕШНЕЙ АТМОСФЕРОЙ КА С ЯЭУ И ИХ АНАЛОГИЯ
С РЕЗУЛЬТАТАМИ КОСМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА
СОВМЕСТНОГО ПОЛЕТА «СОЮЗ»–«АПОЛЛОН»**

В.Д. Атамасов, И.И. Дементьев, И.В. Колбасин, А.Н. Устинов

Докт. техн. наук В.Д. Атамасов
(БГТУ «Военмех им. Д.Ф. Устинова», г. Санкт-Петербург)
И.И. Дементьев; И.В. Колбасин (АО «Конструкторское бюро «Арсенал»
им. М.В. Фрунзе», г. Санкт-Петербург)
А.Н. Устинов (ОАО «МЗ «Арсенал», г. Санкт-Петербург)

Рассмотрено описание процессов в собственной внешней атмосфере космического аппарата, наблюдаемых в орбитальном эксперименте по созданию солнечного затмения при совместном полете пилотируемых аппаратов «Союз»–«Аполлон». Показано, что перенос солнечного излучения по газопылевой среде собственной внешней атмосферы, обнаруженный по светимости, исходящей из теневой области забортного пространства КК «Аполлон» при создании искусственного солнечного затмения, является экспериментальным результатом, подтверждающим теоретические выводы об аналогичном облучении космического аппарата с ядерной энергетической установкой, размещенного в тени блока радиационной защиты.

Ключевые слова: наведенная радиация; собственная внешняя атмосфера; космический эксперимент.

The Phenomenon of Induced Radiation of Own Outboard Atmosphere of the Spacecraft with the Nuclear Power Unit and Their Analogy with the Results of the Soyuz–Apollo Joint Experimental Space Flight. V.D. Atamasov, I.I. Dementyev, I.V. Kolbasin, A.N. Ustinov

The paper considers the description of phenomena in the own outboard atmosphere of spacecraft observed in the space experiment on the creation of the solar eclipse during the joint Soyuz–Apollo mission. It is shown that the transfer of solar radiation via gas-dust environment of own outboard atmosphere detected by the luminosity emanating from the shadow region outboard of the Apollo spacecraft when creating an artificial solar eclipse is an experimental result that confirms the theoretical conclusions on the similar exposure to radiation of the spacecraft with the nuclear power unit placed in the shadow of the radiation safety unit.

Keywords: induced radiation, own outboard atmosphere, space experiment.

Теоретический анализ наведенной радиации собственной внешней атмосферой (СВА), генерируемой бортовой ядерной энергоустановкой (ЯЭУ) и осуществленной в обход защитного блока, выполнен с помощью струк-

турно-функциональной модели. При функционировании космических аппаратов в орбитальных полетах наблюдается непрерывное поступление массы вещества в забортное пространство, обусловленное дегазацией и сублимацией материалов внешней поверхности космического аппарата (КА), утечкой атмосферы из внутренних отсеков, утечкой топлива через клапаны двигателей, выбросов веществ из элементов конструкции при их бомбардировках метеороидами и в процессах электрических разрядов и т.п. Вследствие испарений веществ с поверхности космического аппарата и газопылевых выбросов при функционировании бортовых систем, а также при бомбардировках высокоскоростными потоками частиц космического мусора космогенного и гомогенного происхождения, в забортном пространстве формируется собственная внешняя атмосфера, плотность которой существенно превосходит плотность вещества, имеющегося в окружающем космическом пространстве на данной высоте [1, 2].

В космосе постоянно действуют ионизирующие излучения, к числу которых относятся: галактические космические лучи, солнечные космические лучи, потоки высокоэнергичных частиц, обуславливающие формирование процессов плазмообразования.

Распределение плотности плазменной забортной атмосферы определяется геометрией КА, расположением источников утечки жидкостей и газов, характеристиками и расположением материалов на поверхностях конструкций и др.

В последние годы вследствие постоянно возрастающих потребностей КА в энергии, приводящих к необходимости использования бортовых ядерных энергоустановок, появился новый мощный источник ионизирующего излучения – ядерный реактор. Проектируемые ЯЭУ космического базирования способны вырабатывать сотни киловатт и единицы мегаватт электрической энергии. Плотность потока нейтронов и гамма-квантов на поверхностях реакторов оценивается в $(10^{14}–10^{15})$ нейтр/см²·с и $(10^{18}–10^{19})$ МэВ/см²·с соответственно, создавая наведенную радиацию, которая распространяется по всему объему атмосферы. Указанная радиация, инициированная ионизирующими потоками нейтронов и гамма-излучений бортовой ядерной энергетической установки, приводит к облучению конструкции и бортовых систем, расположенных в защищенной области за блоком радиационной защиты и отодвинутых от ядерной установки на безопасное расстояние.

Собственная внешняя атмосфера окружает КА в течение всего времени летной эксплуатации и может привести к сбоям в работе или ухудшению характеристик бортовых систем [3]. Актуальность проектных работ по созданию КА с ЯЭУ обусловила необходимость создания теоретических основ и проведения экспериментальных исследований для изучения процессов распространения радиационных излучений в плазменной среде забортной внешней атмосферы КА.

Осуществление фотосъемки собственной атмосферы космического корабля «Аполлон» впервые было выполнено в космическом эксперименте «Искусственное солнечное затмение» в совместном экспериментальном полете «Союз»–«Аполлон» (ЭПАС) в 1975 году [4, 5, 6]. Целью данного эксперимента явилось создание солнечного затмения корпусом космического корабля «Аполлон» для изучения параметров ставшей видимой плазмы солнечной короны и СВА, которые фотографировались с борта космического корабля «Союз», находящегося в тени от «Аполлона».

Предполагалось, что при солнечном затмении на фотографии космического корабля «Аполлон» его неосвещенная торцевая часть должна была выглядеть в виде темного объекта, фиктивно представленного на рисунке 1 в виде круга черного цвета. В то время как собственная атмосфера, находящаяся под облучением Солнца вне пределов тени от корпуса «Аполлона», особенно вытянутые до 50 метров струи выхлопных газов жидкостных реактивных двигателей (ЖРД), из-за рассеяния на газопылевых частицах солнечного света, будет видимой. Результаты эксперимента показывают, что, несмотря на затенение прямого излучения Солнца, на многочисленных фотоснимках не наблюдается темного изображения корпуса «Аполлона» (рис. 2), что говорит о «затекании» солнечной радиации в область тени по среде собственной внешней атмосферы, передаваемой от ее освещенных участков.

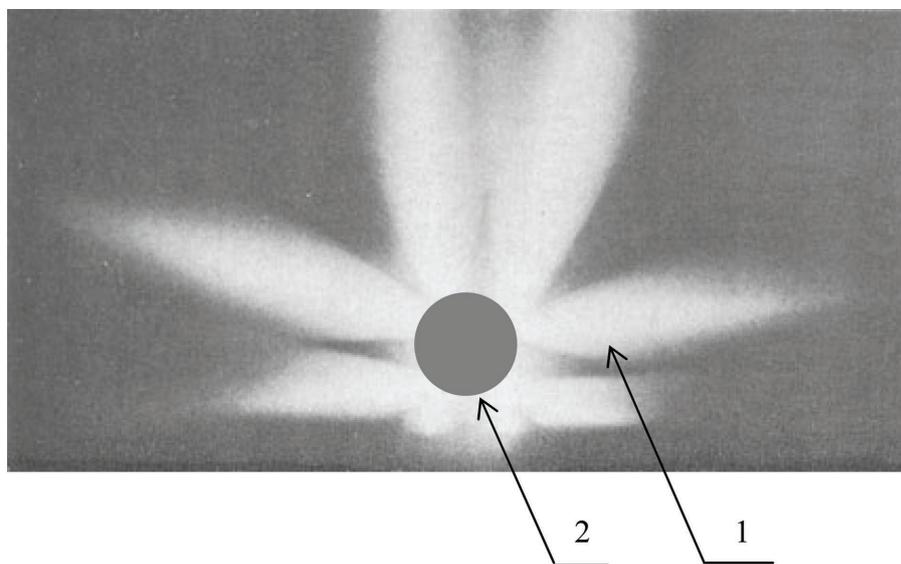


Рис. 1. Фотография собственной внешней атмосферы космического корабля «Аполлон» с работающими двигателями системы ориентации в условиях космического эксперимента по искусственному солнечному затмению:
1 – одна из выхлопных струй ЖРД системы стабилизации;
2 – нарисованная на фотографии фиктивная тень от корпуса КК «Аполлон»

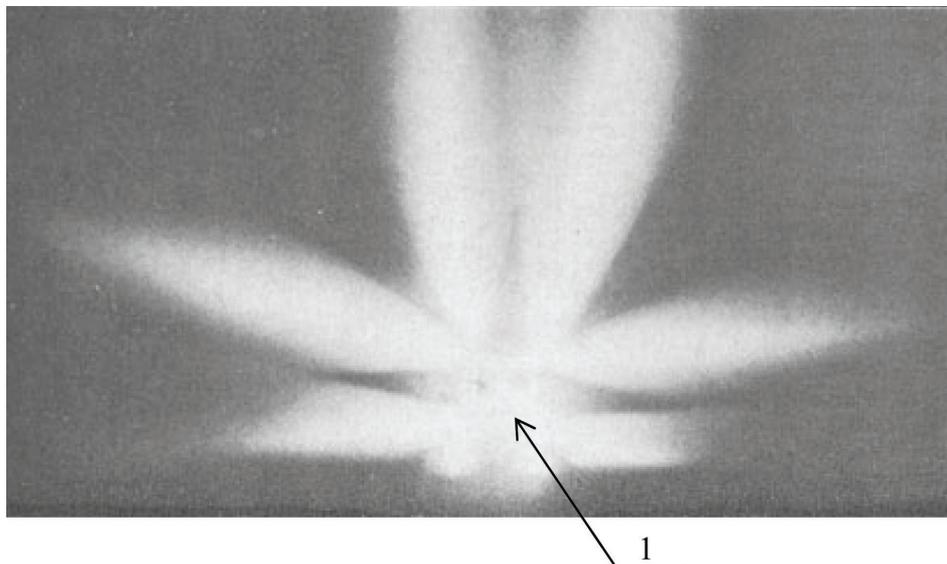


Рис. 2. Фотография собственной внешней атмосферы космического корабля «Аполлон» с работающими двигателями системы ориентации в условиях космического эксперимента по искусственному солнечному затмению: 1 – освещенная наведенной радиацией СВА затененная корпусом КК «Аполлон» область космического пространства

Некоторые фотографии были сделаны после окончания работы двигателей (рис. 3). Благодаря свечению СВА видно, как происходит ее трансформация после окончания рассеяния струй двигателей. Сопоставляя геометрические размеры КА «Аполлон» (диаметр 4 метра) с облаком частиц СВА, видно, что атмосфера может достигать десятков и даже сотен метров в диаметре. Как и на предыдущих снимках, несмотря на то, что конструкция космического корабля «Аполлон» закрывает Солнце, его торцевая часть, находящаяся в тени, остается засвеченной, что говорит о продолжении формирования наведенной радиации через среду собственной внешней атмосферы и после прекращения работы двигателей системы стабилизации.

Темные участки в пределах изображения атмосферы космического корабля «Аполлон» (рис. 3) по литературным источникам были обусловлены попаданием в его СВА крупной метеороидной частицы, образовавшей треки и отбросившей атмосферное вещество от корпуса «Аполлона». Кроме того, снижение светимости СВА в забортном пространстве около боковых поверхностей корпуса космического корабля «Аполлон» можно объяснить более интенсивной продувкой данной области СВА потоком налетающих газов, являющихся следами земной атмосферы, «стекаемых» с лобовой поверхности «Аполлона». Учитывая относительно низкую орбиту проведения эксперимента (около 400 км), потоки налетающих газов являются значительными.



Рис. 3. Фотография собственной внешней атмосферы КА «Аполлон» при выключенных реактивных двигателях системы управления в условиях космического эксперимента по искусственному солнечному затмению: 1 – торец космического корабля «Аполлон», засвеченный наведенной радиацией СВА

Был выполнен анализ результатов экспериментов о изучению процессов передачи солнечного излучения в затененную область пространства, зарегистрированных при создании условий искусственного солнечного затмения в совместном полете космических кораблей «Союз»–«Аполлон». Исследования указывают на адекватность наблюдаемых в экспериментах процессов с явлением наведенной радиации, которое теоретически было смоделировано авторами статьи при изучении переноса излучения от бортового ядерного реактора к затененной блоком защиты конструкции КА.

Схема структурно-функциональной модели КА с ЯЭУ в условиях воздействия собственной внешней атмосферы представлена на рисунке 4.

Здесь представлено схематическое изображение структуры космического аппарата 6, окруженного собственной внешней атмосферой 9. Схема структуры КА включает элементы, аналогичные используемым в экспериментальном полете «Союз»–«Аполлон» (ЭПАС) и функционирующим по одним и тем же физическим законам [7]. Имитатором солнечного лучистого потока является излучение работающего ядерного реактора, осуществляемого с его поверхности в газопылевую среду собственной атмосферы. Космический аппарат, имеющий чувствительную к излучению конструкцию, отодвинут от ядерной энергоустановки с помощью системы 3 и защищен блоком теневой радиационной защиты 2, который является аналогом корпуса аппарата «Аполлон», создающего тень в космическом эксперименте. Коническая форма радиационной тени на рисунке 4 показана под номером 8.

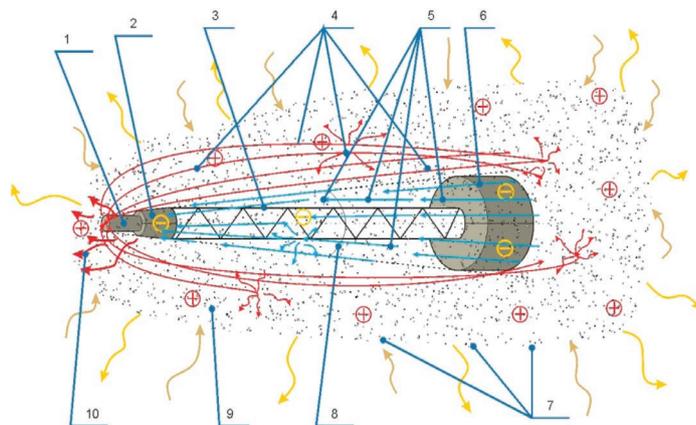


Рис. 4. Схема структурно-функциональной модели сложной технической системы «КА с ЯЭУ + СВА» с активированным ядерным реактором в условиях воздействий собственной внешней газопылевой атмосферы: 1 – ядерный реактор; 2 – блок теневой радиационной защиты; 3 – система отодвижения ядерного реактора; 4 – направленные от реактора продольные потоки мелкодисперсных частиц с активированными за счет излучений реактора веществами; 5 – направленные к реактору продольные потоки мелкодисперсных частиц с частично дезактивированными ядрами вследствие произвольных ядерных расщеплений веществ; 6 – модули специальных и служебных систем; 7 – наружный слой собственной внешней атмосферы; 8 – телесный угол тени радиационной защиты; 9 – собственная внешняя атмосфера аппарата; 10 – область интенсивной активации ядер веществ атмосферы

Незатененная часть собственной внешней атмосферы находится под облучением ядерного реактора, аналогично выступающей за пределы габаритов космического аппарата «Аполлон» и находящейся под облучением Солнца части СВА и особенно части струй выхлопных газов, истекающих из сопел ЖРД.

Следует отметить аналогию и в структурном составе видов излучений, идущих от Солнца и испускаемых ядерным реактором. Это корпускулярные и электромагнитные излучения различных частот, включая видимую область спектра, которая регистрируется с помощью фотоаппаратуры и, таким образом, выступает в качестве фактора обнаружения радиации.

Зафиксированное в космическом эксперименте транспортирование солнечной радиации с освещенной в неосвещенную область собственной атмосферы КА «Аполлон» является экспериментальным обоснованием достоверности предложенной теории явления облучения космического аппарата с ЯЭУ от собственного ядерного реактора. Указанное облучение осуществляется вследствие явления наведенной радиации, приводящей к энергообмену ядерного реактора через СВА с конструкцией космического аппарата, обходя блок радиационной защиты. Данное явление приводит к снижению

эффективности функционирования блока радиационной защиты, что требует разработки дополнительных мер безопасности КА с ЯЭУ.

Выводы

Решение высокоэнергетических задач в космическом пространстве требует создания орбитальных средств с мощными ядерными энергетическими установками, достигающими мегаваттных уровней мощности при многолетних сроках активного существования. При летной эксплуатации космических аппаратов выявлены процессы генерации собственных внешних атмосфер, окружающих их конструкции и оказывающих негативные воздействия на функционирование бортовых систем, что требует принятия мер по их нейтрализации. Негативным влияниям подвержены вынесенные упругие элементы конструкции, иллюминаторы, линзы телескопов и астронавигационные приборы, а также солнечные батареи, терморегулирующие покрытия и т.д. Планируемое повышение энерговооруженности современных КА, решаемое за счет перспективного использования бортовых ядерных энергетических установок, неизбежно приведет к вопросу об увеличении защиты бортовой аппаратуры КА от негативного радиационного влияния активированной собственным реактором СВА.

В КБ «Арсенал» и МЗ «Арсенал» выполнен повторный анализ результатов международного эксперимента по программе искусственного солнечного затмения при совместном полете космических кораблей «Союз»–«Аполлон» и проведено их сравнение с теоретическими данными, полученными с помощью разработанных структурно-функциональных моделей сложных технических систем – КА с ЯЭУ + СВА. Одной из целей космического эксперимента ЭПАС явилось обнаружение светимостей и изучение характеристик солнечной короны и собственной внешней атмосферы КА. Светимости указанных объектов разреженной плазмы относятся к слабым и невидимым в условиях солнечного освещения. Для достижения указанной цели в космическом пространстве было создано искусственное солнечное затмение. Повторное систематизированное изучение результатов ЭПАС позволило выявить новое явление, не получившее описания в публикациях материалов эксперимента, – это явление «затекания» солнечной радиации в затененную, т.е. не облучаемую Солнцем область забортного пространства КА [8]. Аналогичный результат был обоснован при изучении процессов переноса радиации ядерного реактора по плазменной среде СВА на защищенную блоком теневой радиационной защиты конструкцию КА.

Данное явление требует принятия дополнительных мер по радиационной безопасности КА с ЯЭУ. При внедрении дополнительных мер безопасности на начальных этапах работ по проектированию космических аппаратов с ЯЭУ требуется учитывать воздействие наведенной радиоактивности на бортовую аппаратуру. Оценка уровня наведенной радиации можно осуществлять, основываясь на созданной структурно-функциональной модели.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Атамасов В.Д., Полетаев Б.И. Космонавтика XXI века и ядерные термоэмиссионные энергетические установки / Под ред. А.П. Ковалева, В.Ф. Фатеева. – СПб.: «Агенство» РДК – принт», 2002. – 384 с.
- [2] Ядерные орбитальные комплексы / А.Г. Мильковский, В.Д. Атамасов, В.А. Бабук, А.Ю. Данилюк, С.А. Немыкин, А.В. Романов, Ю.А. Соколов, А.Н. Устинов. – СПб.: ФГУП «КБ «Арсенал» им. М.В. Фрунзе», 2016. – 800 с.
- [3] Абдурахимов А.А. Исследование функционирования космических аппаратов в условиях воздействия высокоскоростных потоков мелкодисперсных частиц космотехногенного происхождения / А.А. Абдурахимов, М.М. Полуян // Сб. трудов ВКА им. А.Ф. Можайского. – СПб., 2007. – С. 26–28.
- [4] Солнечное затмение по заказу // Техника-молодежи. – 1978. – № 5. – С. 21–23.
- [5] Союз–Аполлон // Википедия [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org>.
- [6] РКК «ЭНЕРГИЯ» – ПРОГРАММА ЭПАС [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <http://www.energia.ru>.
- [7] Особенности функционирования информационного космического аппарата с ядерной энергоустановкой в газопылевой плазменной среде собственной внешней атмосферы / А.Г. Мильковский, В.Д. Атамасов, А.Н. Устинов, И.В. Колбасин // СПб, Известия РАН. – № 3. – 2019.
- [8] Явление наведенной радиации на космический аппарат от бортовой ядерной энергоустановки через среду собственной внешней атмосферы / В.Д. Атамасов, И.В. Колбасин, И.И. Дементьев, А.Н. Устинов // Уфа, Вестник УГАТУ. – № 2. – 2018.

REFERENCES

- [1] Atamasov V.D., Poletaev B.I. Cosmonautics of the XXI century and thermionic nuclear power plant. Ed. by A. P. Kovalev, V.F. Fateev – St. Petersburg: “RDC – print Agency”, 2002. – p. 384.
- [2] A.G. Milkovsky, V.D. Atamasov, V.A. Babuk, A.Y. Danilyuk, S.A. Nemukhin, A.V. Romanov, Yu.A. Sokolov, A.N. Ustinov. Nuclear orbital complexes. – St. Petersburg: FSUE “KB “Arsenal” n.a. M.V. Frunze”, 2016. – p. 800.
- [3] Abdurahimov A.A. The study of spacecraft functioning under the impact of high-speed flows of cosmic fine particles / A.A. Abdurahimov, M.M. Poluyan // Proceedings of A.F. Mozhaisky GCA. – St. Petersburg, 2007. – pp. 26–28.
- [4] Solar Eclipse on request. “Technique-youth”, 1978. No. 5. – pp. 21–23.
- [5] Union – Apollo // Wikipedia [Electronic source]. – 2012. – Access mode: <http://ru.wikipedia.org> ahhh!
- [6] RSC “Energia” – EPAS PROGRAM [Electronic source]. – 2012. – Access mode: <http://www.energia.ru>
- [7] Milkovsky A.G., Atamasov V.D., Ustinov A.N., Kolbasin I.V.. Performance features of the information spacecraft with a nuclear power plant in the gas-dust plasma environment of its own outer atmosphere. – St. Petersburg, Izvestia RARAN, No 3. 2019.
- [8] Atamasov V.D., Kolbasin I.V., Dement'ev I.I., Ustinov A.N.. The phenomenon of radiation induced on the spacecraft from the onboard nuclear power plant through its own external environment. – Ufa, Vestnik UGATU. – No 2. 2018.