

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ И РИСКА КОСМИЧЕСКОЙ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

О. В. Яковлев

Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН

Поступила в редакцию 25.10.2011 г.

Аннотация. Применение ядерных энергетических установок в космическом пространстве значительно расширяет возможности космической техники. Вместе с тем, опыт эксплуатации космических аппаратов, оснащенных ядерными энергетическими установками, свидетельствует о высоком уровне риска возникновения опасных ситуаций. На основе анализа возможных аварийных ситуаций сформирована обобщенная картина риска на различных этапах эксплуатации космических аппаратов с ядерными источниками энергии на борту.

Ключевые слова: системный анализ, безопасность, риск, космические аппараты, ядерные энергетические установки

Annotation. Application of nuclear power systems in space considerably expands capabilities of space engineering. At the same time, service experience of spacecrafts equipped with nuclear power systems testifies to a high risk level of hazard occurrence. On the basis of possible emergency situations the generalized picture of risk at various operation phases of spacecrafts with nuclear power sources on board is generated.

Key words: system analysis, safety, risk, spacecrafts, nuclear power systems

В широком смысле термин «системный анализ» чаще всего, особенно в англоязычной литературе, употребляют как синоним системного подхода. По существу, системный подход сводится к требованию всесторонности, комплексности исследования любого объекта или явления. При этом комплексность системного подхода проявляется в том, что наряду с рассмотрением объекта исследования как единого целого учитываются как положительные, так и отрицательные его свойства (комплекс свойств), все связи и взаимодействия с окружающей средой (комплекс связей), а также все возможные последствия целевого функционирования объекта (комплекс результатов, как положительных, так и отрицательных) [1].

В последнее время одним из важнейших направлений развития базовых космических технологий являются работы по созданию перспективных ядерных электроэнергетических и двигательных установок [2, 3].

Работы по внедрению ядерной энергетики в космос в нашей стране в настоящее время ведутся в соответствии с «Концепцией развития космической ядерной энергетики в России», принятой Правительством РФ в постановлении от 02.02.98 №144. В ней предусматривается

создание научно-технического задела, обеспечивающего возможность разработки ядерных энергетических установок (ЯЭУ) для космических аппаратов (КА) нового поколения.

Основными документами, регламентирующими развитие космической ядерной энергетики являются:

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 15 августа 1997 г. № 1039 “О правилах оповещения органов исполнительной власти при запуске космического аппарата с ядерным источником энергии. А также оповещения органов местного самоуправления и оказания при необходимости помощи населению в случае аварийного возвращения такого аппарата на землю”.

2. Резолюция Генеральной Ассамблеи ООН 47/68 от 14 декабря 1992 г., в которой указано об обязательном оповещении Генерального секретаря ООН о дате запуска космических аппаратов с ядерными источниками энергии [4].

3. Федеральный закон № 170-ФЗ от 21 ноября 1995 год, “Об использовании атомной энергии”. В нём определены основные положения по обеспечению безопасности космических и летательных аппаратов с ядерными установками и радиационными источниками, а также особые условия эксплуатации космических и летательных аппаратов с ядерными уста-

новками и радиационными источниками, и ответственность за убытки и вред, причиненные радиационным воздействием юридическим и физическим лицам, здоровью граждан.

4. Федеральный закон № 19-ФЗ от 2 февраля 2006 г., “О космической деятельности”. Настоящий Закон направлен на обеспечение правового регулирования космической деятельности в целях развития экономики, науки и техники, укрепления обороны и безопасности Российской Федерации и дальнейшего расширения международного сотрудничества Российской Федерации.

В Российской Федерации исследование и использование космического пространства, в том числе Луны и других небесных тел, являются важнейшими приоритетами государственных интересов.

Ядерные энергетические установки могут устанавливаться на космические аппараты военного и гражданского назначения. Являясь компонентами космических средств, они в существенной мере определяют эффективность применения, продолжительность активного функционирования, затраты и сроки создания перспективных космических средств, и могут решающим образом изменять возможности орбитальных группировок целевых космических комплексов.

Рост числа энергоемких задач, компактность, длительный срок службы, независимость работы ядерных установок от орбитального

положения и ориентации космического аппарата и другие преимущества ядерных энергетических установок обуславливают исключительную необходимость их использования в составе космических средств.

В начале 1960-х гг. на правительственном уровне были приняты решения о практической разработке ЯЭУ в качестве бортовых источников энергии для КА. Интерес к данному направлению был обусловлен поставленной в то время целью создания радиолокационной системы морской космической разведки и целеуказания (МКРЦ). Создание бортовой космической ЯЭУ для системы МКРЦ было необходимо в связи с низкой орбитой работы КА, выбранной для эффективного функционирования этой радиолокационной системы. Исключалась какая-либо возможность использования солнечных энергетических установок на основе фотоэлектрических панелей, поскольку вызванное большой площадью таких панелей аэродинамическое торможение КА приводило к чрезмерным затратам топлива в системах ориентации и стабилизации КА, и поддержания его орбиты [5].

Многолетний опыт эксплуатации КА с ЯЭУ показал, что эти КА являются критически важными объектами. Однако в ходе их эксплуатации возможны аварии, развитие которых может привести к возникновению чрезвычайных ситуаций (ЧС). Таблицы запусков КА с ЯЭУ СССР и США [5, 6, 7] представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Космические корабли с ядерными источниками энергии на борту, запущенные США

Дата запуска	Космический корабль	Источник энергии	Статус/ время жизни
29 июня 1961	Транзит 4А	РТГ	
15 ноября 1961	Транзит 4Б	РТГ	Недействующий
28 сентября 1963	Транзит-5БН-1	РТГ	9 месяцев
5 декабря 1963	Транзит-5БН-2	РТГ	Недействующий
21 апреля 1964	Транзит-5БН-3	РТГ	Аварийный запуск
3 апреля 1965	Снепшот	реактор	43 дня
18 мая 1968	Нимбус-Б-1	РТГ	Аварийный запуск
14 апреля 1969	Нимбус III	РТГ	Недействующий
14 ноября 1969	Апполо 12	РТГ	
11 апреля 1970	Апполо 13	РТГ	Аварийный запуск
31 января 1971	Апполо 14	РТГ	
26 июля 1971	Апполо 15	РТГ	
2 марта 1972	Пионер 10	РТГ	
16 апреля 1972	Апполо 16	РТГ	
2 сентября 1972	Транзит-01-IX	РТГ	РИГ действует
7 декабря 1972	Апполо 17	РТГ	
5 апреля 1973	Пионер 11	РТГ	
20 августа 1975	Викинг 1	РТГ	
9 сентября 1975	Викинг 2	РТГ	
14 марта 1976	LES 8	РТГ	РИГ действует
		РТГ	
14 марта 1976	LES 9	РТГ	РИГ действует
20 августа 1977	Вояджер 1	РТГ	
5 сентября 1977	Вояджер 2	РТГ	

Советские космические аппараты с ядерными источниками энергии на борту

Дата запуска	Спутник	Источник энергии	Средняя высота полета (км)	Продолжительность работы
3 сентября 1965	Космос 84	РИГ		
18 сентября 1965	Космос 90	РИГ		
27 декабря 1967	Космос 198	реактор	320	1 день
22 марта 1968	Космос 209	реактор	305	1 день
25 января 1969	Неудачный запуск			
23 сентября 1969	Космос 300	РИГ	аварийное возвращение на землю	
22 октября 1969	Космос 305	РИГ	аварийное возвращение на землю	
3 октября 1970	Космос 367	реактор	370	1 день
1 апреля 1971	Космос 402	реактор	390	1 день
25 декабря 1971	Космос 469	реактор	380	9 дней
21 августа 1972	Космос 516	реактор	375	32 дня
25 апреля 1973	Неудачный запуск			
27 декабря 1973	Космос 626	реактор	345	45 дней
15 мая 1974	Космос 651	реактор	320	71 день
17 мая 1974	Космос 654	реактор	365	74 дня
2 апреля 1975	Космос 723	реактор	330	43 дня
7 апреля 1975	Космос 724	реактор	300	65 дней
12 декабря 1975	Космос 785	реактор	355	1 день
17 октября 1976	Космос 860	реактор	360	24 дня
21 октября 1975	Космос 861	реактор	360	60 дней
16 сентября 1977	Космос 952	реактор	350	21 день
24 января 1978	Космос 954	реактор	аварийное возвращение на землю приблизительно 43 дня	
29 апреля 1980	Космос 1176	реактор	320	134 дня
5 марта 1981	Космос 1249	реактор	340	105 дней
21 апреля 1981	Космос 1266	реактор	330	8 дней
24 августа 1981	Космос 1299	реактор	345	12 дней
14 мая 1982	Космос 1365	реактор	330	135 дней
1 июня 1982	Космос 1372	реактор	345	70 дней
30 августа 1982	Космос 1402	реактор	аварийное возвращение на землю	
2 октября 1982	Космос 1412	реактор	345	39 дней
29 июня 1984	Космос 1579	реактор	345	90 дней
31 октября 1984	Космос 1607	реактор	350	93 дня
1 августа 1985	Космос 1870	реактор	350	83 дня
23 августа 1985	Космос 1677	реактор	340	60 дней
21 марта 1986	Космос 1736	реактор	350	32 дня
20 августа 1986	Космос 1771	реактор	350	56 дней
1 февраля 1987	Космос 1818	реактор	300	около 6 месяцев
18 июня 1987	Космос 1860	реактор	350	40 дней
10 июля 1987	Космос 1867	реактор	300	около 1 года
12 декабря 1987	Космос 1900	реактор	320	около 124 дней
14 марта 1988	Космос 1932	реактор	365	66 дней

В результате проведенного анализа использования КА с ЯЭУ для решения научных, народно-хозяйственных, экспериментальных и военно-прикладных задач следует, что из общего количества запущенных КА с ЯЭУ у нас в стране и за рубежом, примерно 15–20 % КА

создавали угрозу возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС). Возможный ущерб в ЧС при авариях КА с ЯЭУ варьируется в очень широких пределах. Так, по разным источникам, ущерб при разрушении КА «Космос-954» над безлюдной областью тундры на севере Канады был

оценен правительством Канады на сумму 12 млн. долларов. Соответственно, радиоактивное загрязнение местности в густонаселённой зоне вызовет значительно больший ущерб.

Приведем краткий перечень основных аварий с ядерными установками, установленными на борту КА.

21 апреля 1964 года при неудачной попытке запуска американского навигационного спутника «Транзит-5В» с ядерной энергетической установкой SNAP-9A на борту находившийся в ней плутоний – 238 рассеялся в земной атмосфере.

18 мая 1968 года в ходе выведения на орбиту метеорологического спутника «Нимбус-В» с ядерной энергетической установкой SNAP-19B2 на борту потерпела катастрофу американская ракетополетель «ТорАджена». Благодаря прочности конструкции аппарата он не разрушился. Позднее он был найден и поднят на борт корабля американского ВМФ. Радиоактивного заражения мирового океана не произошло.

25 апреля 1973 года вследствие выхода из строя двигательной установки запуск советского спутника радиолокационной разведки с ядерной энергетической установкой на борту завершился неудачей. Аппарат не был выведен на расчетную орбиту и упал в Тихий океан.

12 декабря 1975 года сразу после выхода на орбиту вышла из строя система ориентации советского спутника радиолокационной разведки «Космос-785» с ядерной энергетической установкой на борту. Активная зона реактора была успешно отделена и переведена на орбиту захоронения, где и находится в настоящее время.

24 января 1978 года в северо-западных районах Канады упал советский спутник радиолокационной разведки «Космос-954» с ядерной энергетической установкой на борту. При прохождении плотных слоев земной атмосферы произошло разрушение спутника и поверхности Земли достигли лишь некоторые его фрагменты. Произошло радиоактивное загрязнение поверхности.

28 апреля 1981 года на советском спутнике радиолокационной разведки «Космос-1266» с ядерной энергетической установкой на борту зафиксирован выход из строя бортового оборудования. Активная зона реактора была успешно отделена и переведена на орбиту захоронения, где и находится в настоящее время.

7 февраля 1983 года в пустынных районах Южной Атлантики упал советский спутник радиолокационной разведки «Космос-1402» с ядерной энергетической установкой на борту. Конструктивные доработки после предыдущей аварии позволили отделить активную зону от термостойкого корпуса реактора и предотвратить компактное падение обломков.

В апреле 1988 года вышел из-под контроля советский спутник радиолокационной разведки «Космос-1900» с ядерной энергетической установкой на борту. Сработала аварийная защитная система и активная зона реактора была успешно отделена и переведена на орбиту захоронения.

После ряда неудачных запусков данное направление в космонавтике было приостановлено в связи с тем, что было показано, что запуск таких аппаратов создает угрозу возникновения ЧС

Исходя из проведенного анализа составлена общая картина риска возникновения чрезвычайных ситуаций при подготовке и эксплуатации КА с ЯЭУ (рис. 1).

Из приведенной картины риска следует, что риск возникновения аварии КА с ЯЭУ на борту может произойти на различных этапах его жизненного цикла.

Исходя из анализа картины риска, представленной на рис. 1 и в табл. 1, 2, можно заключить, что основными факторами риска возникновения ЧС являются аварийные пуски на полигоне запуска, а также аварийное возвращение с орбиты на землю вследствие отказа систем увода КА на орбиту захоронения.

В связи с тем, что статистическая выборка отказов КА с ЯЭУ является малой, использовать понятие вероятности возникновения ЧС при авариях КА с ЯЭУ с точки зрения математической статистики некорректно. Тем не менее, риск возникновения ЧС при авариях КА с ЯЭУ можно характеризовать относительной частотой, представляющей отношение числа аварий определенного вида к общему числу аварий к общему числу запусков.

Так, для аварийных пусков на полигоне значение относительной частоты возникновения ЧС, составляет величину порядка 0,128. А для аварийного возвращения с орбиты на землю 0,083.

Полученные значения относительных частот, характеризующих риск возникновения ЧС при авариях КА с ЯЭУ значительно расходятся

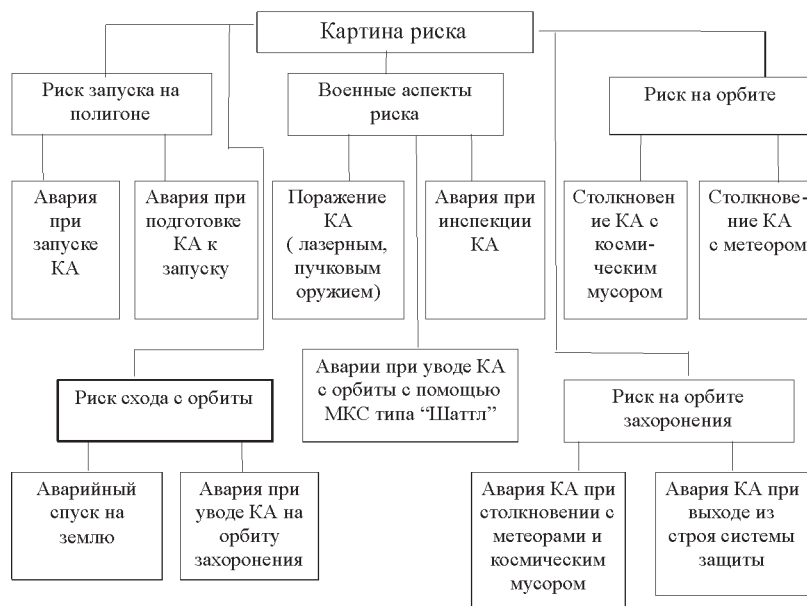


Рис. 1. Общая картина риска возникновения чрезвычайных ситуаций при подготовки и эксплуатации КА с ЯЭУ

с данными по надёжности космической техники, что указывает на необходимость более полного учёта влияния излучения реакторной установки на элементы систем управления КА.

Военные аспекты риска, а также ряд других факторов риска, указанных в общей картине риска, в настоящее время не могут быть корректно оценены из-за отсутствия статистических данных.

В целом, общая картина риска возникновения ЧС при авариях КА с ЯЭУ позволяет на качественном уровне оценить этот риск для различных аспектов применения КА с ЯЭУ. Количественные оценки риска по относительной частоте возникновения аварий получены на основе малой выборки для наиболее типичных аварий и являются оценками риска возникновения ЧС “в первом приближении”. Для получения более представительной статистики необходимо проведение модельных экспериментов.

В этой связи системный анализ обстановки на основе возможных рисков, связанных с применением ядерных источников энергии в кос-

мическом пространстве, является важным этапом предпроектных работ по обеспечению безопасной эксплуатации перспективных космических средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Северцев Н.А., Дедков В.К. Системный анализ и моделирование безопасности. – М.: Высшая школа, 2006.
2. Андреев П.В., Васильковский В.А. Космическая ядерная энергетика: прошлое, настоящее, будущее // АтомПРЕССА № 15, 2007.
3. Куландин А.А., Тимашев С.В., Зайцев И.В. Энергетические системы космических аппаратов. – М.: Наука, 1994.
4. Международное право № 3, 1993.
5. Железняков А.Б. Ядерное созвездие: история создания и эксплуатации отечественных космических аппаратов с ядерными энергетическими установками. – Атомная стратегия XXI, сентябрь 2004.
6. Steven Aftergood, Background on Space Nuclear Power // Science & Global Security, № 1–2. Vol. 1, 1989, pp 93–107.
7. Joel R. Primack et al. Space Reactor Arms Control (Overview) // Science and Global Security, 1989, Volume 1, № 1–2, pp. 59–82.

Яковлев Олег Владимирович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник отдела Нелинейного анализа и проблем безопасности Вычислительного центра им. А. А. Дородницына РАН. Тел. 8-916-823-50-29, E-mail: ssdav@yandex.ru

Yakovlev Oleg V. – Cand.Tech.Sci, Higher Senior Officer, Leading Research Assistant of Department of Nonlinear Analysis and Safety Problem of Dorodnicyn Computing Centre of RAS. Tel. 8-916-823-50-29, E-mail: ssdav@yandex.ru