

**Генеральная Ассамблея**Distr.: Limited
14 February 2001

Original: Russian

Комитет по использованию космического пространства

Научно-технический подкомитет

Тридцать восьмая сессия

Вена, 12–23 февраля 2001 года

Пункт 7 повестки дня

Использование ядерных источников энергии в мирных целях**Столкновение ядерных источников энергии с космическим мусором****Рабочий документ, представленный Российской Федерацией**

1. Российская Федерация, принимая во внимание мнение Научно-технического подкомитета о необходимости подробных исследований по проблеме столкновений ядерных источников энергии (ЯИЭ) с космическим мусором и публикации результатов таких исследований, ежегодно представляет рабочие документы с результатами расчетов, выполненных по этой проблеме в рамках общей программы исследований по безопасности космических ЯИЭ.

2. В настоящем рабочем документе приведены итоговые результаты расчетно-теоретических исследований последствий возможного столкновения ЯИЭ, запущенных в космос в течение 1970-1988 годов, с космическим мусором. Настоящий рабочий документ дополняет рабочий документ Российской Федерации № A/AC.105/C.1/L.233, представленный 9 февраля 2000 года.

3. После запусков космических аппаратов (КА) с ядерными энергетическими установками (ЯЭУ) на орбитах 700-1100 км находятся следующие объекты, содержащие реактор и ядерное топливо:

а) термоэлектрические ЯЭУ с отсеками увода (ОУ) (29 изделий, в том числе 16 изделий с ядерным топливом в реакторе и 13 изделий без ядерного топлива в реакторе), спутники серии "Космос", начиная со спутника "Космос-367" и заканчивая спутником "Космос-1932" (общий вид ЯЭУ с ОУ представлен на рисунке 1);

б) сборки тепловыделяющих элементов (ТВЭлов) с ядерным топливом (13 изделий) в автономном полете после выброса из корпуса реактора

V.01-80810 (R) 160201 160201

0180810

термоэлектрических ЯЭУ на орбите увода (схема выброса сборки твэлов представлена на рисунке 2, общий вид сборки твэлов после выброса представлен на рисунке 3);

с) термоэмиссионные ЯЭУ в составе КА (2 изделия), спутники "Космос-1818" и "Космос-1867" (общий вид ЯЭУ в составе КА представлен на рисунке 4).

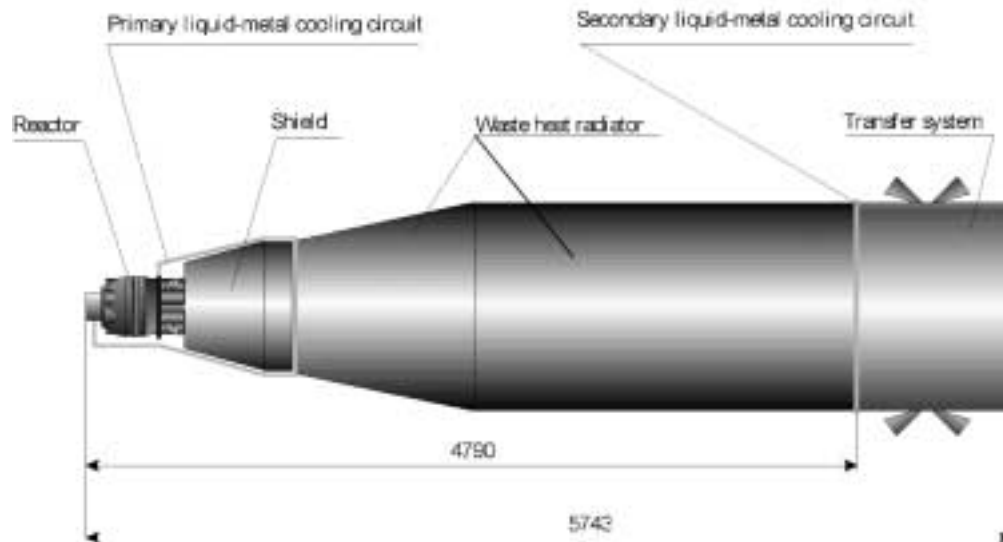


Figure 1 - Space Reactor System

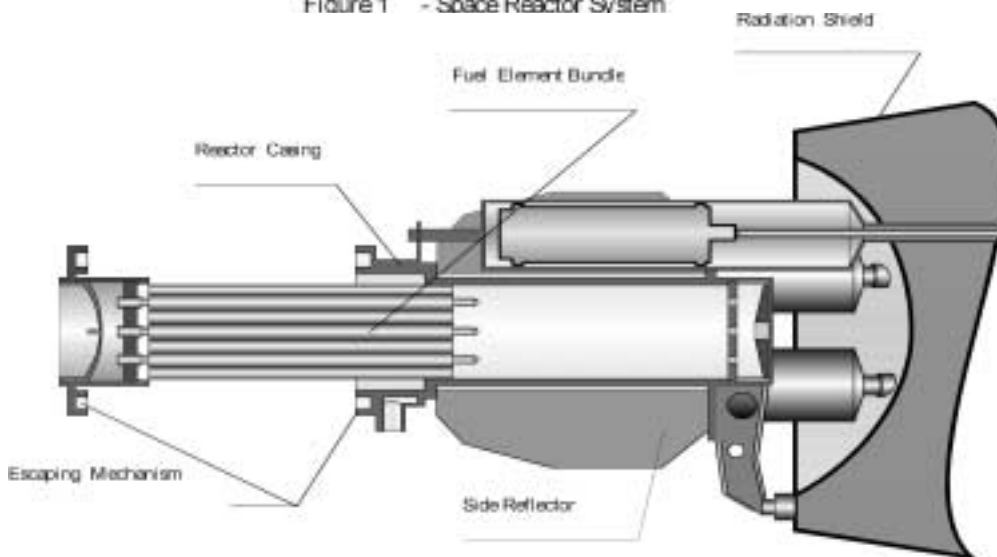


Figure 2 - Scheme of Escaping for Fuel Element Bundle

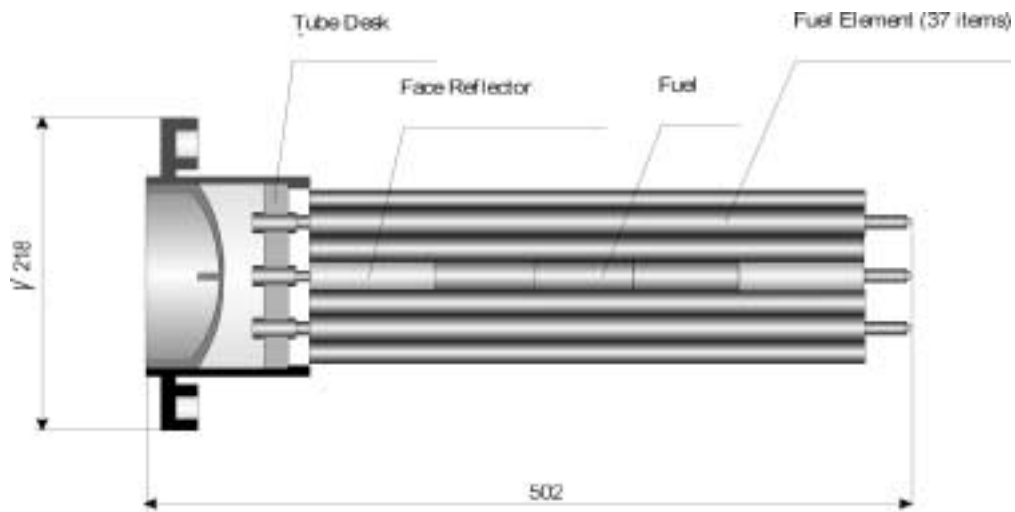


Figure 3 - Fuel Element Bundle

4. Последствия возможных столкновений указанных объектов, содержащих

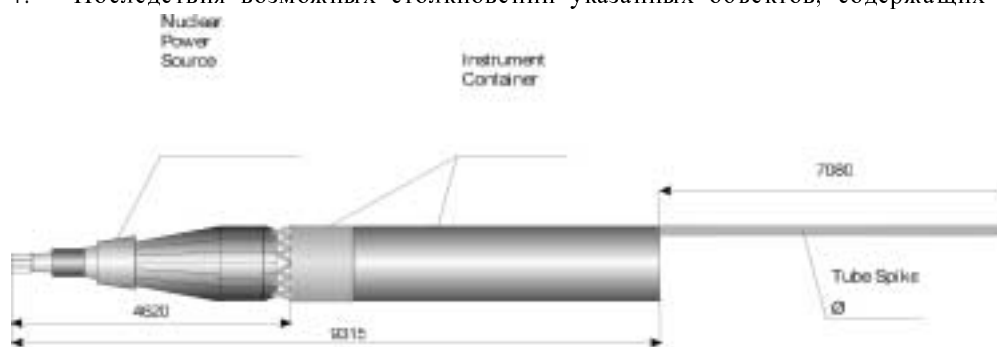


Figure 4 - Spacecraft "Cosmos-1816, 1867"

реактор и ядерное топливо, с космическим мусором (КМ) при длительном нахождении объектов на достаточно высоких орбитах могут представлять потенциальную опасность с позиций радиоактивного загрязнения окружающей среды, включая космическое пространство, и накопления КМ на орбитах вследствие:

- а) преждевременного схода ЯЭУ с ОУ, автономных сборок твэлов и ЯЭУ в составе КА с орбит длительного существования в результате формирования тормозного импульса, аэродинамического разрушения ЯЭУ в атмосфере и выпадений частиц радиоактивных материалов и элементов конструкции ЯЭУ на поверхность Земли;

б) образования и рассеяния на орбитах частиц радиоактивных и нерадиоактивных материалов ЯЭУ, а также фрагментов конструкции ЯЭУ при разрушении элементов ЯЭУ.

5. Для расчетов разрушения ЯЭУ при возможном столкновении с КМ принята модель КМ Российского авиационно-космического агентства (модель А.И.Назаренко) с плотностью распределения фрагментов КМ по размерам, высоте, широте и с прогнозируемым изменением плотности распределения КМ во времени в зависимости от интенсивности будущих запусков космических объектов. Расчеты характера разрушения объектов и вероятности столкновений объектов с КМ выполнены для наиболее вероятных углов столкновения 60-70 градусов и скорости удара около 12 км/с с учетом размеров и массы объектов, находящихся на высоких орбитах с наклоном 64,7-66,1 градусов, и динамики движения объектов вокруг центра масс в полете по орбите.

6. Преждевременный сход объектов, содержащих реактор и ядерное топливо, с орбит длительного существования при столкновении с КМ и формировании тормозного импульса может реализоваться:

а) для термоэлектрической ЯЭУ с ОУ (масса 1254 кг) при столкновении с фрагментом КМ размерами более 155 мм (стальной фрагмент КМ) с вероятностью 0,032 за 100 лет;

б) для автономной сборки твэлов (масса 53 кг) при столкновении с фрагментом КМ размерами более 55 мм (стальной фрагмент КМ) с вероятностью 0,0021 за 100 лет. При этом столкновение со стальным фрагментом КМ размерами более 22 мм с вероятностью 0,0215 за 100 лет приводит к значительному разрушению сборки твэлов (более 10% по массе);

с) для термоэмиссионной ЯЭУ в составе КА (масса 3090 кг) при столкновении с фрагментом КМ размерами более 180 мм (стальной фрагмент КМ) с вероятностью 0,014 за 100 лет.

7. При сходе термоэлектрической ЯЭУ с ОУ с высокой орбиты и спуске в плотных слоях атмосферы реализуется аэродинамическое разрушение конструкции ЯЭУ и ОУ в диапазоне высот 98-64 км, разрушение стальной конструкции реактора и твэлов в диапазоне высот 64-50 км, диспергирование ядерного топлива (сплав уран-молибден) в диапазоне высот 50-47 км до частиц конечного размера менее 1,0 мм и падение на поверхность Земли элементов бериллиевого бокового и торцевых отражателей реактора, радиационной защиты из гидрида лития.

8. Сход с высокой орбиты автономной сборки твэлов и спуск в атмосфере должен сопровождаться аэродинамическим разрушением стальной конструкции твэлов на высотах 88-87 км, диспергированием ядерного топлива (сплав уран-молибден) на высотах 86-85 км до частиц конечных размеров в диапазоне 0,06-0,88 мм, разрушением торцевых бериллиевых отражателей на высотах 77-67 км. Следует также отметить, что столкновение автономной сборки твэлов с достаточно крупным фрагментом КМ приведет к разрушению твэлов на высокой орбите. Разрушение одного твэла в сборке твэлов реализуется при столкновении с фрагментами КМ размерами более 2,5 мм (стальной фрагмент КМ) с вероятностью 0,4 за 100 лет и выбросом обломков ядерного топлива размерами 7-20 мм, разлет которых в зависимости от величины и направления импульса

приведет к появлению фрагментов ядерного топлива на эллиптических орбитах (900-7000 км) и к входу фрагментов ядерного топлива в плотные слои атмосферы с последующим аэродинамическим нагревом и диспергированием ядерного топлива до частиц конечного размера 1-8 мм.

9. При сходе с высокой орбиты термоэмиссионной ЯЭУ в составе КА и спуске в атмосфере должно реализоваться:

а) разрушение алюминиевой конструкции отсеков приборного контейнера КА к высоте 84 км;

б) разрушение стальной наружной конструкции ЯЭУ на высотах 81–73 км;

в) отделение реактора и разрушение стальных элементов конструкции реактора на высотах 73-45 км;

г) падение на поверхность Земли радиационной защиты из гидрида лития и частично разрушенной конструкции реактора, содержащей замедлитель (гидрид циркония), электрогенерирующие каналы (ЭГК) с диоксидом урана, торцевые бериллиевые отражатели, боковой бериллиевый отражатель с регулирующими цилиндрами в положении максимальной подкритичности реактора.

10. Для термоэмиссионной ЯЭУ в составе КА рассмотрены также последствия возможного удара фрагмента КМ по реактору с разрушением реактора на высокой орбите, выбросом отдельного (или отдельных) ЭГК и последующим входом ЭГК в плотные слои атмосферы. Такие последствия могут реализоваться при столкновении с КМ размерами не менее 80 мм (стальной фрагмент КМ) с вероятностью 0,0027 за 100 лет.

11. При автономном спуске ЭГК в плотных слоях атмосферы реализуется аэродинамическое разрушение стальных наружных элементов конструкции ЭГК к высоте 80 км, разделение ЭГК на отдельные электрогенерирующие элементы (ЭГЭ) с вылетом катодов ЭГЭ, содержащих диоксид урана в молибденовом корпусе, которые падают на поверхность Земли.

12. Радиологические последствия столкновений с КМ объектов, содержащих реактор и ядерное топливо, рассмотрены для времени выдержки объектов на высоких орбитах в течение 100 лет, т.е. для момента времени, соответствующего значимой (порядка 0,01-0,03) величине вероятности столкновения с КМ. При такой продолжительности выдержки реактора на высокой орбите активность ядерного топлива обуславливается содержанием цезия-137 и стронция-90, являющихся продуктами деления урана-235. Наведенная активность в конструкционных материалах реактора, в бериллиевом отражателе, в замедлителе (гидрид циркония) и в радиационной защите (гидрид лития) практически полностью распадается при времени выдержки более 30 лет.

13. Радиационная обстановка на территории выпадений частиц и фрагментов ядерного топлива, частей и элементов конструкции реактора и ЯЭУ, образовавшихся при столкновении с КМ и после аэродинамического разрушения при спуске в атмосфере, определяется размерами фрагментов, уровнем радиоактивности во фрагментах и возможными условиями внешнего гамма-облучения отдельных лиц из населения на территории выпадений.

14. Реактор термоэлектрической ЯЭУ с ОУ и автономная сборка твэлов при столкновении с КМ и после спуска в плотных слоях атмосферы могут разрушиться до частиц размерами 1-8 мм и до фрагментов диаметром 20 мм и толщиной 3 мм (с учетом предварительного окисления урана при полете в верхних слоях атмосферы). Активность цезия-137, который определяет уровень гамма-излучения от ядерного топлива (вклад тормозного гамма-излучения стронция-90 незначителен), составит: в частицах от 1,5 мКи до 0,75 мКи, во фрагментах менее 2,5 мКи. Возможные годовые дозы при условной стандартной схеме облучения отдельных лиц из населения составят менее 0,2 мЗв (0,02 бэр), что ниже допустимого предела дозы (1 мЗв за год).

15. Реактор термоэмиссионной ЯЭУ в составе КА при столкновении с КМ и после спуска в плотных слоях атмосферы может разрушиться до активной зоны, содержащей ЭГК и частично дегидрированный замедлитель, с боковым и торцевыми отражателями или до отдельного катода ЭГЭ, активность которых составит 17 Ки и 43 мКи соответственно. Возможные годовые дозы при условной стандартной схеме облучения отдельных лиц из населения составят до 250 мЗв (25 бэр) от частично разрушенного реактора (подкритичность реактора при окружении и заполнении водой и мокрым песком обеспечивается) и до 3 мЗв (0,3 бэр) от катода ЭГЭ, что превышает допустимый предел дозы (1 мЗв за год) и должно рассматриваться как облучение населения в условиях радиационной аварии с выполнением защитных мероприятий.

16. Комплексом защитных мероприятий, который вводится в действие в случае подтверждения факта схода объекта с высокой орбиты, в соответствии с национальными и международными документами предусмотрено:

а) слежение за траекторными параметрами спуска объектов, содержащих реактор и ядерное топливо, с высокой орбиты после столкновения с КМ;

б) прогнозирование района входа объектов в верхние слои атмосферы и районов падения на поверхности Земли частично разрушенной конструкции реактора и отдельных фрагментов реактора и ЯЭУ;

в) оповещение органов власти о возможной ситуации в районе падения и мерах по выполнению режима радиационной безопасности, включая установление запретной зоны вокруг упавшего объекта и отдельных фрагментов при обнаружении;

г) поиск, обнаружение и удаление объекта и фрагментов с места падения;

д) организация радиационного контроля в месте падения и при необходимости ликвидация радиоактивного загрязнения;

е) обследование и учет лиц из населения, оказавшихся в месте падения объекта и фрагментов, оценка возможных индивидуальных доз облучения и оказание при необходимости помощи населению.

17. Вероятность облучения отдельных лиц из населения при падении объекта, содержащего реактор и ядерное топливо, после столкновения с КМ и аэродинамического разрушения при спуске в атмосфере достаточно мала (порядка 0,00002-0,0009) и определяется не только вероятностью столкновения (0,01-0,03 за 100 лет) с фрагментом КМ достаточно крупных размеров, но и

вероятностью падения в среду обитания человека, которая может составлять, например, от 0,002 (инфраструктура) до 0,03 (система землепользования) для космических объектов с наклоном орбит 65 градусов.

18. Таким образом, последствия разрушения реактора и ядерного топлива термоэлектрических ЯЭУ с ОУ, находящихся на орбитах 700-1100 км, при столкновении с КМ с образованием частиц и фрагментов ядерного топлива, рассеивающихся на высоких орбитах и выпадающих на поверхность Земли, не представляют радиологической опасности даже при падении частиц и фрагментов ядерного топлива в среду обитания человека. Последствия разрушения реактора термоэмиссионных ЯЭУ в составе КА, находящихся на орбитах 789-806 км, при столкновении с КМ маловероятны и в случае падения частично разрушенного реактора и/или фрагментов реактора в среду обитания человека радиологические последствия будут ликвидированы выполнением предусмотренного комплекса защитных мероприятий.
