



Генеральная Ассамблея

Distr.: Limited
9 February 2000

Original: Russian

Комитет по использованию космического пространства в мирных целях

Научно-технический подкомитет

Тридцать седьмая сессия

Вена, 7-18 февраля 2000 года

Пункт 6 повестки дня

Использование ядерных источников энергии в космическом пространстве

Столкновения ядерных источников энергии с космическим мусором

Рабочий документ, представленный Российской Федерацией

1. После запусков космических аппаратов (КА) с ядерными энергетическими установками (ЯЭУ) в течение 1970-1988 годов на орбитах 700-1100 км находятся следующие объекты, содержащие реактор и ядерное топливо:

а) ЯЭУ с отсеком увода (ОУ) (29 изделий), спутники серии "Космос", начиная со спутника "Космос-367" и заканчивая спутником "Космос-1932";

б) сборки тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) (13 изделий) в автономном полете после выброса из корпуса реактора ЯЭУ на орбите увода, что производилось, начиная со спутника "Космос-1176"; для спутников "Космос-1670", "Космос-1677" и "Космос-1900" сборки ТВЭЛ не идентифицированы в качестве автономных объектов;

в) ЯЭУ в составе КА (2 изделия), спутники "Космос-1818" и "Космос-1867".

2. Прогнозируемые времена существования объектов с реактором и ядерным топливом на орбитах 700-1100 км составляют: ЯЭУ с ОУ около 1000 лет, сборки ТВЭЛ более 2000 лет, ЯЭУ в составе КА не менее 400 лет. Исключение составляет спутник "Космос-1900", время существования которого на орбите 700-750 км оценивается в 120 лет.

3. Наклонение орбит составляет 64,70-66,10 градусов для ЯЭУ и 64,78-65,66 градусов для сборок ТВЭЛ.

4. Последствия возможных столкновений ЯЭУ с космическим мусором (КМ) при длительном нахождении ЯЭУ на достаточно высоких орбитах могут представлять потенциальную опасность с позиций радиологического загрязнения окружающей природной среды, включая космическое пространство, и накопления КМ.
5. При столкновении ЯЭУ с достаточно крупными фрагментами КМ определяющими являются следующие последствия:
 - a) преждевременный сход ЯЭУ с орбиты длительного существования в результате формирования тормозного импульса;
 - b) разрушение излучателя ЯЭУ с вытеканием жидкометаллического теплоносителя (натрий-калий) вторичного контура, не содержащего радиоактивности;
 - c) разрушение автономной сборки твэлов с рассеянием на орбитах и выпадениями на поверхность Земли фрагментов ядерного топлива.
6. Расчетные исследования показывают, что сход ЯЭУ с высокой орбиты может реализоваться при столкновении с фрагментом КМ размерами не менее 60 мм для стали и не менее 85 мм для алюминия при наиболее вероятной скорости удара около 12 км/с.
7. При сходе ЯЭУ с орбиты и спуске в плотных слоях атмосферы обеспечивается аэродинамическое разрушение конструкции ЯЭУ на высотах 74-64 км (рисунок 1), разрушение конструкции реактора и твэлов на высотах 64-50 км (рисунок 2) и диспергирование ядерного топлива в диапазоне высот 50-47 км (рисунок 2) до частиц с размерами менее 1 мм. Выпадения таких частиц ядерного топлива не приведут к изменению радиационной обстановки в сравнении с естественным гамма-фоном на территории выпадений с учетом распада продуктов деления урана к моменту возможного столкновения ЯЭУ с КМ.
8. Разрушение излучателя ЯЭУ может привести к утечке теплоносителя, к образованию капель натрия-калия и их отделению от излучателя при условии превышения давления от центробежных сил, создаваемых вращением ЯЭУ вокруг поперечной оси, над давлением сил поверхностного натяжения капли натрия-калия, формирующейся на кратере в месте пробоя элементов излучателя ЯЭУ, с учетом снижения скорости вращения ЯЭУ вокруг поперечной оси вдвое за каждые 3,5 года с момента увода ЯЭУ на высокую орбиту.
9. Исследования разрушения элементов (трубок и коллекторов) излучателя ЯЭУ (рисунок 3) при столкновении с КМ показали, что пробой трубок при ударе со скоростью 12 км/с по нормали к поверхности излучателя реализуется для частиц КМ из стали размерами более 0,25 мм и для частиц из алюминия размерами более 0,45 мм, но вытекание натрия-калия через кратеры от таких частиц не происходит.
10. Условие превышения давления от центробежных сил над давлением от сил поверхностного натяжения капли выполняется при вскрытии проходного сечения трубки (диаметр 5 мм) после удара частицами КМ с размерами более 6 мм, что справедливо только для спутников "Космос-1900" и "Космос-1932", уведенных на высокую орбиту в 1988 году. В случае размеров кратера в трубке, превышающих диаметр проходного сечения трубки, что реализуется при ударе частицами КМ с размерами более 6 мм под малыми углами к поверхности излучателя, утечка расплава натрия-калия может реализоваться при меньших давлениях от центробежных сил для ЯЭУ, уведенных на высокую орбиту не ранее 1984 года, начиная со спутника "Космос-1579".

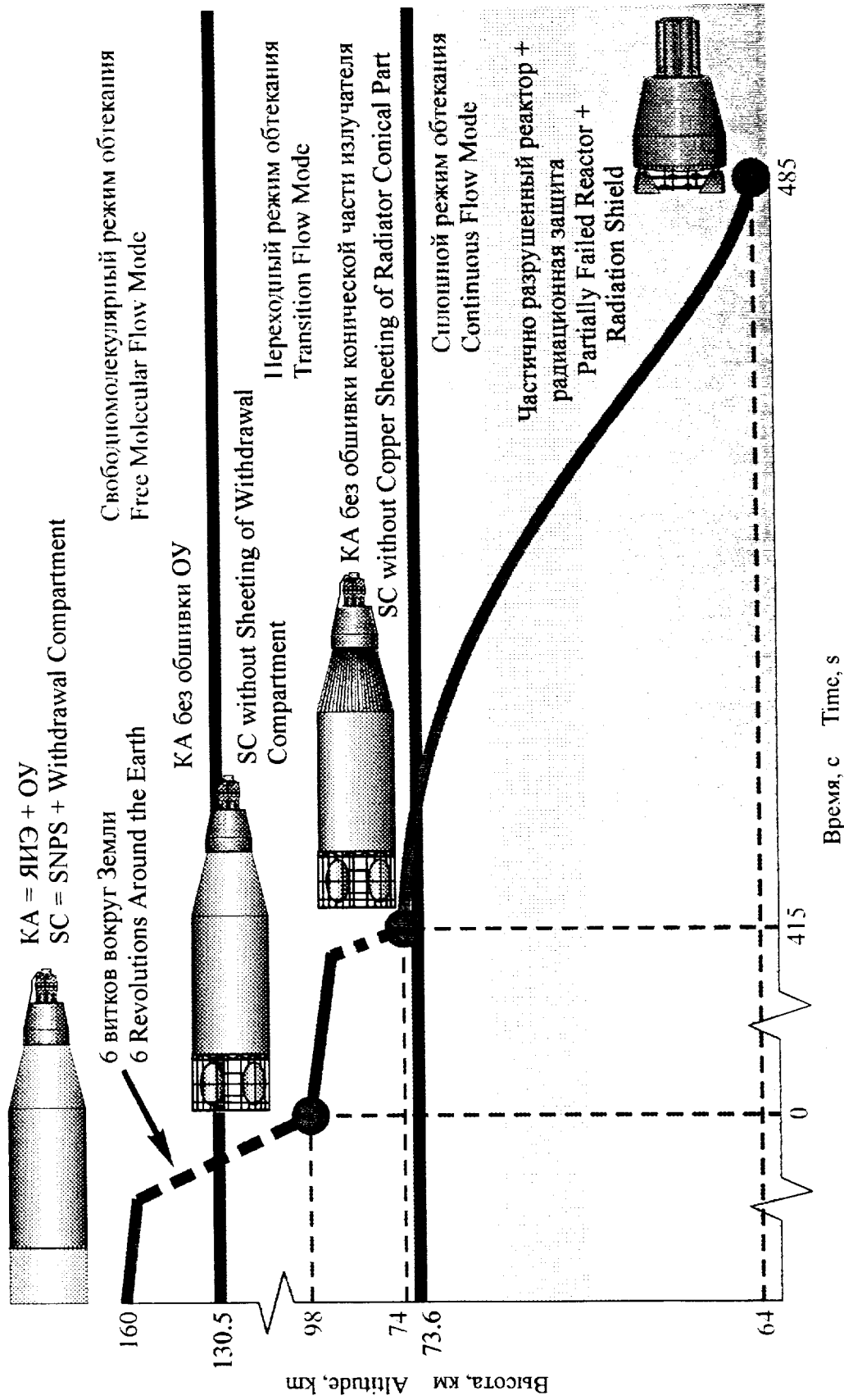


Рисунок 1 - Последовательность разрушения КЯИЭ при спуске в плотных слоях атмосферы
Figure 1 - Sequence of Disruption for SNPS under Re-entry

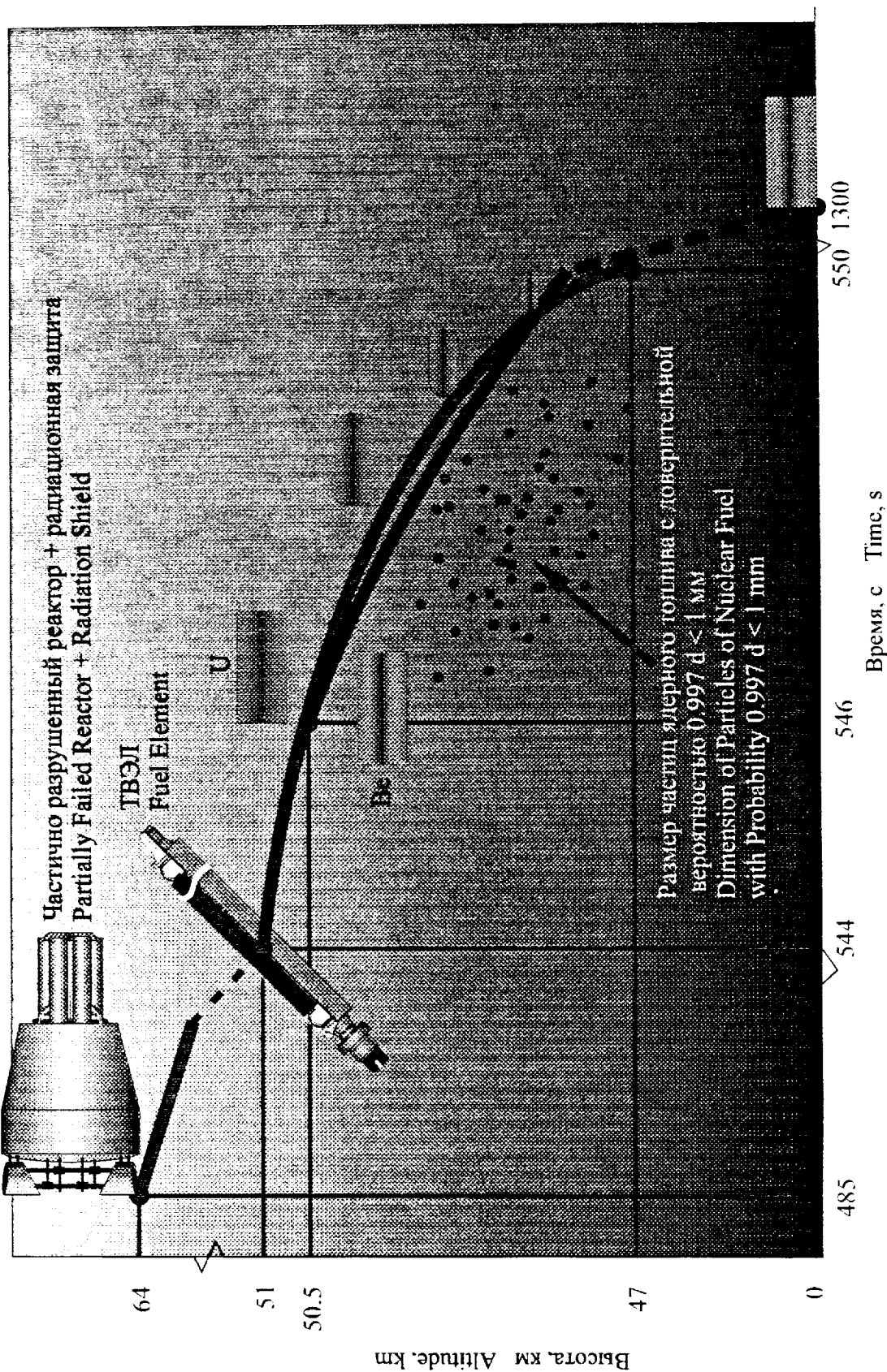


Рисунок 2 - Последовательность разрушения КЯИЭ при спуске в плотных слоях атмосферы
Figure 2 - Sequence of Disruption for SNPS under Re-entry

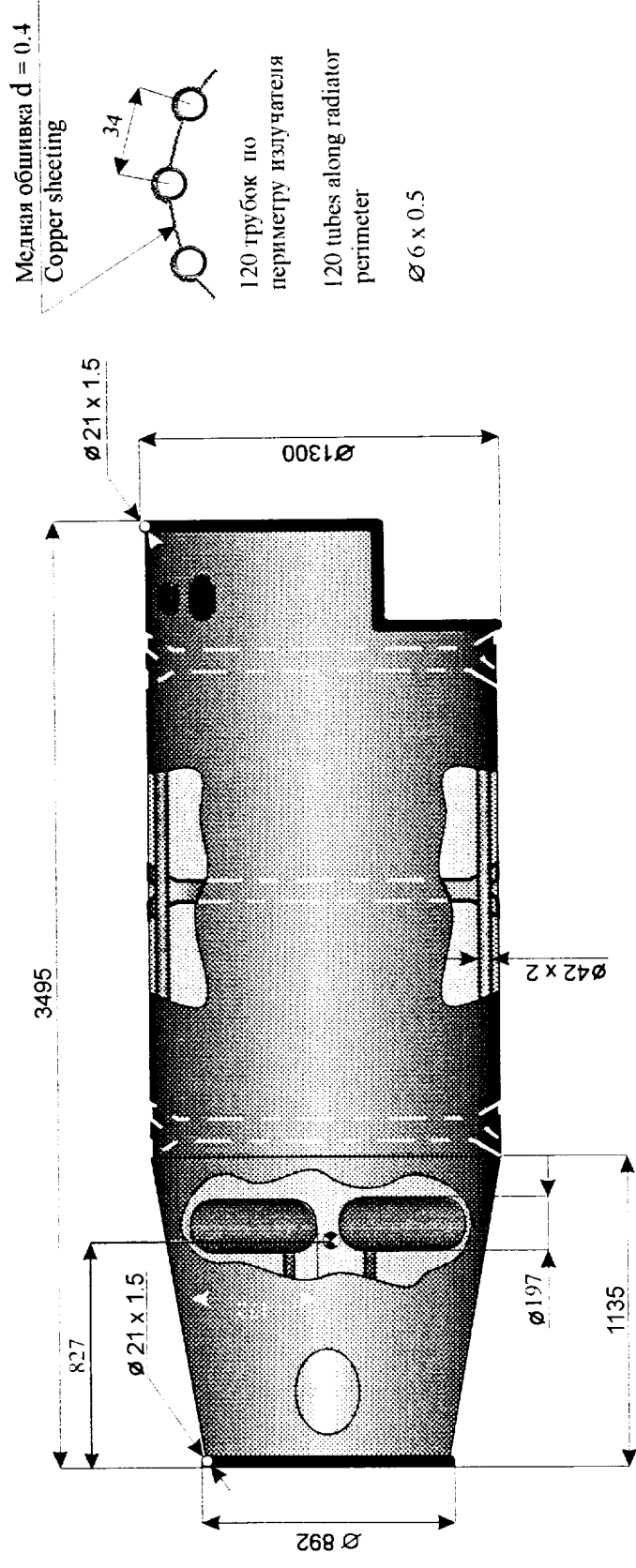


Рисунок 3 - Расчетная схема излучателя ЯЭУ.
 Figure 3 - Calculation scheme of NPS radiator.

11. Разрушение автономной сборки твэлов исследовано для условий разрушения твэла с кратером до половины его диаметра, составляющего 20 мм, с выбросом частиц и фрагментов ядерного топлива. Такая картина реализуется при скорости удара 12 км/с для частиц КМ из стали размерами более 2,5 мм и для частиц из алюминия более 5 мм с выбросом обломков ядерного топлива (урана), распределенными в диапазоне размеров от 7 мм до 20 мм.
12. Разлет обломков ядерного топлива с импульсами скорости от 60 м/с до 1000 м/с в зависимости от направления импульсов может сопровождаться:
- а) входом фрагментов ядерного топлива в плотные слои атмосферы примерно через час после столкновения с КМ;
 - б) появлением фрагментов ядерного топлива на эллиптических орбитах с перигеем на высоте полета сборки твэлов в момент столкновения (900 км) и апогеем до 7000 км.
13. При входе фрагментов ядерного топлива в плотные слои атмосферы реализуется аэродинамическое диспергирование фрагментов до частиц с конечным размером от 0,9 до 8,0 мм, что вряд ли может представлять радиологическую опасность с позиции внешнего гамма-облучения на территории выпадений частиц с учетом содержания в топливе цезия-137, определяющего уровень гамма-излучения от ядерного топлива и от его фрагментов при выдержке ядерного топлива до момента столкновения сборки твэлов с КМ более 50 лет.
14. Картина аэродинамического диспергирования фрагментов ядерного топлива при входе в плотные слои атмосферы изменится при условии предварительного окисления урана при полете в верхних слоях атмосферы.
15. Образование на поверхности обломков урана тугоплавкой пленки диоксида урана понизит высоту начала аэродинамического диспергирования фрагментов до момента разрушения пленки с последующим выплеском расплава урана. Для фрагментов ядерного топлива диаметром 20 мм и длиной от 5 до 55 мм конечный размер выпадающих частиц составит 2,4-4,5 мм. Фрагменты диаметром 20 мм и толщиной менее 3 мм с поверхностным окислением не разрушаются при спуске в плотных слоях атмосферы.
16. Для автономныхборок твэлов спутников "Космос-1176" - "Космос-1932" неразрушающийся фрагмент ядерного топлива на 1999 год содержит активность не более 10 мКи цезия-137, что при возможной стандартной схеме гамма-облучения отдельных лиц из населения приведет к годовой дозе облучения менее 1 мЗв.
17. Вероятности последствий столкновений ЯЭУ и автономныхборок твэлов с КМ определяются размерами объектов, размерами фрагментов КМ и распределением КМ на орбитах 700-1100 км, а также прогнозом накопления КМ в будущем.
18. Вероятности рассмотренных последствий столкновений с КМ объектов, содержащих реактор и ядерное топливо, составят:
- а) преждевременный сход ЯЭУ с орбит длительного существования - 0,2 за 100 лет;
 - б) разрушение излучателя ЯЭУ и образование капель теплоносителя (натрия-калия) - 0,007 1/год (только до 2010 года), после 2010 года образование и отделение капель натрия-калия исключается, кроме значительного разрушения элементов (коллекторов) излучателя при столкновении с фрагментом КМ размерами более 12 мм с вероятностью менее 0,002 1/год;
 - в) разрушение автономной сборки твэлов - 0,12 за 100 лет.
19. Таким образом, исследования разрушения ЯЭУ и автономныхборок твэлов при столкновении с КМ показывают, что возможные выпадения фрагментов ядерного топлива на поверхность Земли не представят радиологической опасности.