



## Генеральная Ассамблея

Distr.: Limited  
8 December 2010  
Russian  
Original: English

### **Комитет по использованию космического пространства в мирных целях**

Научно-технический подкомитет

Сорок восьмая сессия

Вена, 7-18 февраля 2011 года

Пункт 10 предварительной повестки дня\*

**Использование ядерных источников энергии  
в космическом пространстве**

### **Практикум по использованию ядерных источников энергии в космическом пространстве: применяемый Соединенными Штатами подход к оценке риска и его роль в осуществлении эффективной программы обеспечения безопасного использования ядерных источников энергии в космическом пространстве**

**Документ, представленный Соединенными Штатами  
Америки\*\***

#### *Резюме*

В Соединенных Штатах Америки планируемое использование ядерных источников энергии (ЯИЭ) в космическом пространстве анализируется на предмет обеспечения безопасности и оценивается с точки зрения возможных рисков в соответствии с рекомендациями, изложенными в Рамках обеспечения безопасного использования ядерных источников в космическом пространстве, совместно опубликованных в 2009 году Научно-техническим подкомитетом и Международным агентством по атомной энергии. В Соединенных Штатах анализ условий обеспечения безопасности ядерных источников энергии

\* A/AC.105/C.1/L.306.

\*\* Содержание настоящего документа основано на содержании документа зала заседаний A/AC.105/C.1/2011/CRP.5.



начинается с изучения средства выведения, космического аппарата, проекта миссии и правил запуска. Эта информация используется для характеристики целого ряда предполагаемых сценариев аварийных ситуаций в целях определения условий возникновения таких ситуаций при запуске и вероятности того, что такая авария случится. Для понимания того, как ядерный источник энергии и ядерное топливо будут вести себя при различных аварийных сценариях проводится испытание компонентов ядерного источника энергии на безопасность, а также моделирование механики сплошной среды. Данные о внешних условиях, обуславливающих аварию, и о вероятности аварии, а также результаты испытаний на безопасность и компьютерной имитации используются вместе при анализе безопасности для характеристики сопряженного с миссией риска. Затем группа национальных экспертов, не связанных с миссией, проводит обзор анализа обеспечения безопасности. Замечания и результаты этого обзора учитываются во втором цикле анализа безопасности, итоги которого вновь подлежат независимому обзору. Такой процесс анализа и обзора обеспечения ядерной безопасности стимулирует постоянное совершенствование оценки сопряженного с миссией риска и способствует выявлению возможностей для повышения безопасности проекта миссии и будущих конструкций ЯИЭ.

## Введение

1. Министерство энергетики Соединенных Штатов предоставляет ядерные энергетические установки Национальному управлению по авиации и исследованию космического пространства (НАСА) для использования в гражданских космических миссиях, в которых предъявляются особые требования к электроснабжению и обогреву космического аппарата. Эти источники энергии разделяются на два общих класса: радиоизотопные энергетические системы (РЭС) для электропитания и радиоизотопные тепловые блоки (РТБ) для местного обогрева компонентов. РЭС отличаются компактностью, небольшим весом, длительным сроком службы и надежностью. Они позволяют осуществлять те космические миссии, в которых невозможно использовать солнечную энергию. На период подготовки настоящего документа космическая программа Соединенных Штатов предусматривает два типа РЭС: радиоизотопный термоэлектрический генератор (РТГ) и усовершенствованный радиоизотопный генератор Стирлинга (УРГС). На всех предыдущих американских космических аппаратах, предусматривавших применение РЭС, использовались РТГ. УРГС пока находится на стадии разработки.

2. Планеты и их спутники часто находятся вдали от Солнца, затенены и отличаются суровыми условиями. Поэтому в настоящее время РЭС являются единственным средством, позволяющим проводить межпланетные исследования. Однако радиоизотопы представляют определенную опасность. С самого начала, когда в январе 1959 года президенту Эйзенхауэру был представлен радиоизотопный генератор SNAP-3, соображения, касающиеся безопасности, были и остаются в центре внимания космической ядерной программы Соединенных Штатов<sup>1</sup>. Осуществляя исследовательскую деятельность на протяжении последних пятидесяти лет, Соединенные Штаты освоили ядерные источники энергии, оценили потенциальные угрозы, научились контролировать риски и расширили знания о Солнечной системе благодаря успешному и безопасному осуществлению миссий в соответствии с Рамками обеспечения безопасного использования ядерных источников энергии в космическом пространстве (A/AC.105/934). В настоящем документе обсуждается проведение Министерством энергетики анализа ядерной безопасности при запусках.

## II. Аспекты ядерной безопасности

3. В РЭС и РТБ в качестве топлива используется диоксид плутония ( $\text{PuO}_2$ ), в котором выделение тепла происходит прежде всего вследствие альфа-распада плутония-238 ( $\text{Pu-238}$ ). Учитывая радиоактивную природу  $\text{Pu-238}$ , существуют потенциальные угрозы в случае аварии при запуске и эксплуатации космического аппарата, использующего такие системы. Поэтому Министерство энергетики и НАСА считают обеспечение безопасности неотъемлемым элементом проектирования, создания и применения ядерных энергетических

---

<sup>1</sup> United States of America, Department of Energy, *Atomic Power in Space: A History* (Washington, D.C., 1987), p. 17.

установок в космическом пространстве в соответствии с разделом 5.2 Рамок обеспечения безопасности. Чтобы свести к минимуму потенциальные риски для населения, в конструкции учитываются касающиеся безопасности соображения, включая применение радиоизотопа (Pu-238), который легко закрыть защитным экраном; использование такой формы радиоизотопного топлива (оксид), которая является крепкой, химически устойчивой, нерастворимой и имеет высокую температуру плавления; и химически устойчивые барьеры (пластичная иридиевая оболочка и термостойкие углепластики). На диаграмме 1<sup>2</sup> показаны многочисленные слои защиты, окружающие топливо. Применяемые в американских РЭС топливные таблетки PuO<sub>2</sub>, заключенные в капсулу из иридия, называются fuelled clad (FC), т.е. оболочки с топливом (ОТ). Две ОТ размещаются в ряд внутри ударопрочного графитового корпуса из углепластика FWPF (мелкоплетеная перфорированная ткань). Графитовый ударопрочный корпус обеспечивает защиту ОТ при ударах. Этот корпус обернут в термостойкий углеродный материал для теплозащиты топлива при входе в плотные слои атмосферы или при других тепловых поражающих факторах. Два теплоизолированных ударопрочных графитовых корпуса размещаются внутри сделанного из FWPF модуля теплового источника общего назначения (ТИОН). Модуль ТИОН представляет собой аэрооболочку, которая препятствует выбросу топлива при входе в плотные слои атмосферы и обеспечивает защиту топлива в случае столкновения. Внутри РЭС могут располагаться вместе несколько модулей ТИОН. В дополнение к этим неотъемлемым элементам обеспечения безопасности проводятся испытания на безопасность с целью оценки реагирования систем на возможные аварийные сценарии.

4. Безопасность ядерных энергетических установок в космическом пространстве напрямую связана с неотъемлемыми элементами обеспечения безопасности средства выведения, верхней ступени, космического аппарата, системы прекращения полета и профиля миссии. НАСА осуществляет обширную программу обеспечения надежности средств выведения и космических аппаратов. К важным дополнительным элементам этого комплексного подхода к обеспечению безопасности относится содействие обеспечению безопасности на ракетном полигоне и планирование соответствующих мероприятий в случае чрезвычайной ситуации до и во время запуска.

5. Министерство энергетики проводит вероятностные оценки риска для выяснения того, как может повести себя эта техника в случае аварий, и для характеристики любых возможных выбросов топлива из РЭС. Для оценки возможности облучения топливом населения, а также последствий и рисков, связанных со всевозможными аварийными сценариями, проводится моделирование атмосферного переноса и рассеяния предполагаемых выбросов топлива.

---

<sup>2</sup> См. диаграмму 1 в документе A/AC.105/C.1/2011/CRP.5, размещенном по адресу: [www.unoosa.org/oosa/COPUOS/stsc/wgnps/index.html](http://www.unoosa.org/oosa/COPUOS/stsc/wgnps/index.html).

### III. Испытания ядерных установок на безопасность

6. В соответствии с разделом 5.2 (с) Рамок обеспечения безопасности проводимая Соединенными Штатами оценка ядерной опасности при запусках основывается на результатах проводимых на протяжении более 30 лет испытаний на безопасность, начиная от испытаний отдельных компонентов и до полномасштабных испытаний секций конвертера. Особое внимание в рамках испытаний на безопасность уделяется реагированию ОТ на различные поражающие факторы. Для регистрации поведения ОТ, как правило, используются такие характеристики, как размер деформации оболочки, размеры трещин (если таковые возникают) и распределение частиц  $\text{PuO}_2$  по размерам. Испытания на безопасность включают следующее:

a) *испытания на избыточное давление взрывного типа.* Ранее проводились испытания в ударной трубе, которые называются также испытаниями на избыточное давление взрывного типа. В рамках этой серии испытаний проводилась оценка воздействия возникшей в результате взрыва ударной волны либо на модуль ТИОН, либо на РТГ. Испытываемый модуль одной из своих боковых сторон размещался в направлении распространения ударной волны. По обеим сторонам от него размещались имитационные графитные блоки для имитации кладки из трех модулей. ОТ в испытываемом модуле заполнялись топливом, имитирующим диоксид урана ( $\text{UO}_2$ );

b) *испытания с осколочным снарядом.* Эти испытания проводились для определения воздействия небольших осколков и предметов, поражающих ТИОН в результате взрыва ракеты-носителя. Испытания сначала проводились с пластинами из FWPF для определения того, какое уменьшение скорости может выдержать сам модуль ТИОН. Затем проводились испытания на мишенях из половины модуля с использованием алюминиевых пуль. Кроме того, в рамках этой серии испытаний изучалось попадание титановых пуль в незащищенную оболочку;

c) *испытания на сброс.* При разработке модуля ТИОН проводились испытания на сброс с вертолета с целью определения скорости модуля ТИОН в точке падения и изучения последствий его столкновения с землей;

d) *испытания на огнестойкость с использованием твердого топлива.* Компоненты двух модулей ТИОН подвергались длительному воздействию огнем от горящего твердого топлива в виде большого куба. Эти компоненты, не защищенная ОТ и ударопрочная сборка, состоящая из графитовой ударопрочной оболочки с двумя большими ОТ, размещались с каждой стороны моноблочного заряда твердого топлива для воздействия открытым огнем. В обоих компонентах использовался топливный имитатор  $\text{UO}_2$ .

e) *испытания незащищенной оболочки на ударные перегрузки.* Испытания незащищенной оболочки на ударные перегрузки проводились для определения влияния соударений с различными средами на ОТ и топливо. Условия проведения испытаний были рассчитаны таким образом, чтобы соответствовать условиям, которые могут возникнуть при аварии на стартовом столе или во время начального выведения на орбиту. Испытания незащищенной оболочки на ударные перегрузки проводились на ОТ, содержащих либо  $\text{UO}_2$ , либо  $\text{PuO}_2$ ;

f) *испытания теплового источника общего назначения на ударные перегрузки.* Испытания модуля ТИОН на ударные перегрузки проводились таким образом, чтобы имитировать возвращение в плотные слои атмосферы и последующее столкновение модуля ТИОН с поверхностью Земли после аварийного прекращения орбитального полета. Используемый в этих испытаниях модуль ТИОН подвергался механической обработке с целью удаления небольшого графитового слоя со всех внешних поверхностей. Количество удаленного графита соответствовало количеству этого материала, уносимого при аварийном возвращении в атмосферу. Все ОТ в модулях ТИОН заполнялись  $\text{PuO}_2$  в качестве топлива. Модули подвергались такому тепловому воздействию, которое происходит во время возвращения в атмосферу до удара на прогнозируемой скорости спуска в атмосфере. В ходе этих испытаний менялся угол столкновения. Модули ударялись о сталь;

g) *испытания на соударение с крупным осколком.* Это испытание предусматривает ударное воздействие крупного осколка корпуса ракеты-носителя на имитатор части РТГ. Была проведена серия испытаний на ракетной тележке для имитации удара крупного осколка. Имитатор теплового источника помещался внутрь имитатора РТГ и нагревался до предстартовых температур на момент удара. Имитатор РТГ представлял собой кладку из восьми модулей ТИОН, из которых два модуля содержали имитаторы ОТ с  $\text{UO}_2$ , а шесть модулей, сделанных из кускового графита, содержали цельнолитые молибденовые сердечники, представляющие ОТ;

h) *испытания метаемой пластиной.* В испытаниях с метаемой пластиной тонкий осколок в форме пластины своей плоской стороной соударялся с ОТ, наполненным топливным имитатором  $\text{UO}_2$ . Пластина изготавливалась из марки алюминия, предназначенной для космических аппаратов. ОТ, которые использовались в первых трех испытаниях, были остатками ОТ, на которых проводились испытания в ударной трубе. Перед испытанием ОТ нагревались, чтобы их температура соответствовала предстартовой;

i) *испытания на удар кромкой метаемой пластины.* В испытаниях на удар кромкой метаемой пластины имитировалось соударение крупных осколков в форме пластины с полностью загруженными модулями ТИОН, а также с незащищенными ОТ. Во всех оболочках содержался топливный имитатор  $\text{UO}_2$ . Для ускорения пластин с целью нанесения кромкой удара по мишени использовалась рельсовая траса;

j) *испытания РТГ на лобовое столкновение.* Цель ударных испытаний РТГ заключалась в получении опытных данных по деформации ОТ в зависимости от положения в кладке модуля ТИОН в РТГ и о вариативности деформации в каждом положении. Вторая цель заключалась в получении данных о частичном выбросе имитатора топлива в случае появления трещины в ОТ. Имитатор РТГ с кладкой из девяти имитаторов модулей ТИОН с оболочками, наполненными  $\text{UO}_2$ , нагревался до предстартовых температур. В ходе этих испытаний имитатор РТГ для столкновения с бетонной мишенью разгонялся с помощью ракетной тележки;

к) *испытание иридия на пластичность.* Герметизированные оболочки, в которые заключают радиоактивное вещество  $\text{PuO}_2$ , изготавливаются из

иридия. Для того чтобы лучше понять свойства этого оболочкового материала и определить изменение его характеристик в зависимости от температуры и величины приложенного усилия, проводились испытания на растяжение при различных температурах;

1) *испытания для определения характеристик горения твердого топлива.* Была проведена серия испытаний для изучения и определения характеристик среды под и рядом с различными видами твердого топлива при сжигании в атмосферных условиях и для измерения реакции различных изотопных материалов или заменителей на эту среду.

#### IV. Анализ ядерной безопасности

7. В Соединенных Штатах при разработке и применении космических ядерных энергетических установок проводятся разного рода оценки их безопасности и экологичности, подобные тем, которые описаны в разделе 5.3 Рамок обеспечения безопасности. Основное внимание при этом уделяется Аналитическому докладу по безопасности и сопутствующим документам, которые готовятся в рамках процедур получения разрешения на запуск. Элементами этих документов, играющими важную роль в процедурах рассмотрения, являются:

а) *Сборник данных о средстве выведения.* Для каждой конкретной миссии НАСА готовит Сборник данных о средстве выведения для использования при подготовке Министерством энергетики различных анализов и аналитических докладов о безопасности в рамках процедуры получения разрешения на запуск. В Сборнике данных содержится подробная справочная проектная информация, касающаяся миссии, средства выведения, космического аппарата, стартового комплекса, циклограммы и траектории полета. Кроме того, в Сборнике данных указано множество возможных аварий и связанных с ними аварийных условий (взрывная волна, шаровая молния, столкновение с осколком и возвращение в атмосферу) и вероятностей;

б) *Аналитический доклад по безопасности.* Министерство энергетики проводит официальный анализ каждой миссии, предусматривающей использование ядерной энергетической установки в космическом пространстве, с целью оценки ядерной безопасности и связанных с миссией потенциальных рисков. Результаты анализов безопасности, проводимых в рамках процедуры получения разрешения на запуск, документально оформляются в аналитических докладах по безопасности на трех последовательных уровнях. Эти доклады включают Предварительный аналитический доклад по безопасности, Проект аналитического доклада по безопасности и Окончательный аналитический доклад по безопасности;

с) *Доклад в рамках процедуры выдачи разрешения на запуск.* Внешняя группа экспертов, называемая Межведомственной комиссией по контролю мер ядерной безопасности, рассматривает Сборник данных НАСА и Аналитический доклад по безопасности Министерства энергетики и проводит независимую оценку безопасности миссии. Межведомственная комиссия документально закрепляет результаты рассмотрения и независимой оценки в Докладе по оценке безопасности. В течение этой процедуры НАСА и

Министерство энергетики предоставляют дополнительную информацию, которая может потребоваться Межведомственной комиссии при решении возможных технических вопросов. Содержание первых проектов Доклада по оценке безопасности и замечания Межведомственной комиссии могут включаться в более поздние варианты Аналитического доклада по безопасности, чтобы анализ безопасности был более обстоятельным.

## **V. Вычисления, применяемые при обзоре анализа безопасности**

8. При анализе безопасности запуска используется комплект машинных программ для моделирования различных этапов развития аварии и сопутствующих явлений, выброса радиоактивных изотопов ("характеристики выброса"), переноса радиоизотопов и последствий<sup>3</sup>. НАСА готовит Сборник данных по средству выведения, вероятности возникновения аварий и аварийным условиям. Эти данные служат исходным материалом для расчетов. С помощью машинных феноменологических программ определяется реакция элементов конструкции РЭС на воздействие взрыва, удара, пожара и входа в атмосферу. Эти машинные программы подготавливают набор просмотрных таблиц, которые используются в качестве вводной информации для определения характеристик выброса в конкретном аварийном сценарии. Как правило, элементы обеспечения безопасности РЭС не допускают выброса материала. Если происходит выброс, его характеристики передаются в пакет программ, вычисляющих последствия, для определения того, насколько далеко может быть перенос выброшенного материала и к каким последствиям для здоровья населения или окружающей среды это может привести. Конечный продукт оценки риска представляет собой распределение вероятностей аварии, вероятность выброса, возможные последствия, средние значения и оценку риска.

### **A. Взрывное и ударное воздействие**

9. Число сценариев возможных аварийных ситуаций намного больше, чем можно испытать, и поэтому для дополнения существующей базы данных об испытаниях на безопасность при анализе безопасности используется численное моделирование. Потенциально аварийными условиями, которые требуют моделирования, являются воздействие взрывной волны от подрыва при старте, соударение элементов конструкции РЭС с землей и ударное воздействие частиц мусора и твердого топлива на элементы конструкции РЭС. Для подробного моделирования аварийных условий, которые определяются в Сборнике данных, используются машинные программы по механике сплошных сред. Эти программы включают нелинейные модели состояния и точно анализируют крупные деформации, которые могут приводить к возникновению геометрической нелинейности. Такое численное моделирование механических

---

<sup>3</sup> Порядок вычислений при анализе безопасности для получения разрешения на запуск показан на диаграмме 2 в документе A/AC.105/C.1/2011/CRP.5, размещенном по адресу: [www.unoosa.org/oosa/COPUOS/stsc/wgnps/index.html](http://www.unoosa.org/oosa/COPUOS/stsc/wgnps/index.html).



повреждений вследствие взрывного и ударного воздействия позволяет оценить повреждения энергетической установки (и ее компонентов), в частности повреждение ОТ внутри энергетической установки. Численное моделирование позволяет рассчитать экспозиционную дозу, нарушение герметичности и деформацию ОТ. Оценка производится на пооболочковой основе для каждого аварийного случая, а результаты вводятся в модель выброса, встроенную в программу анализа характеристик выброса. Исходя из информации о повреждении оболочки, полученной при численном моделировании, с помощью модели выброса определяется количество и дисперсный состав  $PuO_2$  любого выброса материала.

10. Изучаются условия при таких механических нагрузках, как взрывная волна, удары о землю, столкновения с фрагментами космического аппарата и, для некоторых миссий, с мусором от неповрежденного космического аппарата. В большинстве случаев механическое повреждение является следствием сложной цепочки событий. При численном моделировании эта цепочка разъединяется, и в программу анализа характеристик выброса вводится информация об отдельных событиях, которую затем можно использовать для объяснения постепенно развивающейся цепи событий. Программа анализа характеристик выброса выдает подробные данные об экспозиционной дозе, деформации и нарушении целостности ОТ в виде табличной информации об ударах о землю, ударных воздействиях фрагментов, столкновении с осколками космического аппарата и воздействии взрыва. Затем эти отдельные результаты могут быть объединены для оценки итогового выброса вследствие механической нагрузки.

## **В. Анализ огневого и теплового воздействия**

11. Аварийные условия при запуске могут возникнуть при воспламенении жидкого и твердого ракетного топлива. В применяемой Соединенными Штатами технике заложены несколько уровней защиты, которые способствуют предотвращению выброса топлива РЭС в случае аварии на стартовой площадке. Так, по расчетам, температура пожара, вызванного воспламенением жидкого ракетного топлива, не столь высока, чтобы расплавить иридиевую оболочку, в которой содержится топливо РЭС. Существует несколько машинных программ для моделирования того, как воздействуют на элементы конструкции и топливо РЭС пожары, вызванные жидким ракетным топливом, пожары, вызванные твердым ракетным топливом, термомеханические удары и парообразование.

12. Вводимые в машинную программу параметры характеризуют пожар на земле, вызванный горением твердого ракетного топлива, расходящееся облако и распределение в виде гистограмм различного размера частиц какой-либо выброшенной массы  $PuO_2$  в результате совмещенного или почти совмещенного максимума воздействия. Используя эти данные в качестве отправной точки, пакет программ прогнозирует распределение частиц по размерам и состав аэрозолей, содержащих  $PuO_2$ , в расходящемся облаке. Программа по сути трансформирует характеристики выброса (гистограмма распределения по массе и размеру) частиц  $PuO_2$ , выброшенных в результате механического

воздействия, в характеристики, включающие влияние парообразования, конденсации и спекания частиц.

### **C. Анализ возвращения в атмосферу**

13. Для космического аппарата с РЭС на борту являются возможными сценарии нештатного возвращения в атмосферу. Модуль ТИОН проектируется таким образом, чтобы он мог выдержать условия спуска в атмосфере, а для оценки и утверждения конструкции модуля применяется комплект программ. Несколько программ используются вместе для комплексного решения последовательных физических задач, касающихся движения, нагрева, тепловых характеристик, химического взаимодействия и спектра обтекания невязкого потока, которые могут встречаться во время спуска в атмосфере. Для оценки параметрического пространства спуска в атмосфере требуется произвести тысячи вычислений, касающихся динамики полета, аэродинамического нагрева поверхности и абляции и тепловой реакции модуля ТИОН на участке спуска в атмосфере. Этот анализ проводится для каждой отдельной миссии, поскольку у каждой миссии свои параметры орбит. Тепловые, физические и скоростные результаты этого анализа включаются в анализ характеристик выброса.

### **D. Анализ характеристик выброса**

14. Характеристики выброса представляют собой определение количества и формы топлива РЭС, при наличии такового, выброс которого может произойти. Поскольку конструкция оборудования призвана удерживать топливо, характеристики выброса могут иметь неопределенное значение. Расчет характеристик выброса для целей анализа безопасности запуска производится по методу Монте-Карло программой, которая выдает миллионы возможных результатов для анализа одной миссии и пытается охарактеризовать все угрожающие элементы аварийных условий при запуске.

15. В начале каждого имитационного моделирования путем случайного выбора функции распределения вероятности, исходя из средства выведения, определяется место, где происходит авария. Затем программа расчета характеристик выброса перебирает все опасные воздействия, которые имеют место при этой аварии, включая начальный взрыв, удары различных фрагментов в воздухе, падение РЭС на грунт, воздействие на РЭС фрагментов твердого ракетного топлива или других крупных фрагментов, осколочный град и пожары, связанные с воспламенением жидкого и твердого ракетного топлива. В процессе имитационного моделирования производится анализ различных распределений, и в итоге предлагаются миллионы отличных от других решений.

16. Конечным результатом анализа характеристик выброса является определение распространения возможных выбросов топлива  $PuO_2$  для целей анализа последствий. Информация о конечных выбросах включает данные о выброшенной массе, распределении частиц по размерам, месте выброса и условиях горения. В результате анализа определяется также вероятность

выброса в случае аварии, что вместе с вероятностью возникновения этой аварии позволяет определить общую вероятность сценария.

## **Е. Анализ последствий**

17. С помощью комплекта программ для определения последствий производится расчет атмосферного переноса выброшенного топлива РЭС и обусловленных этим последствий, касающихся влияния на здоровье, доз облучения и заражения местности. Медицинские последствия характеризуются количеством умерших от латентного рака за последующие 50 лет. Линейная модель непороговой дозы используется вместе с элементом выбора *de minimis* (порогового) значения. Стохастические прогоны программного пакета по многочисленным сценариям называются "наблюдениями". Для каждого наблюдения произвольно выбираются конкретные погодные условия, источник выброса и время пуска. Используется выборка по значимости для обеспечения того, чтобы при анализе учитывались такие комбинации переменных, которые приводят к маловероятным событиям с большими последствиями.

18. Для моделирования атмосферного переноса используется гауссова модель рассеивания в лагранжевых координатах, позволяющая обрабатывать многочисленные характеристики выброса частиц различного размера. Перенос и рассеивание материала в клубах облака зависят от метеорологических условий, которые могут меняться во времени и пространстве. Эти условия включают в себя составляющие ветра в узлах координатной сетки, класс устойчивости, высоту зоны перемешивания и неровность нижележащей поверхности. Каждое облако выброса, определяемое такими характеристиками, как размеры частиц, начальные размеры облака и начальные координаты, прослеживается с временными интервалами в четырехмерном кинематическом поле (три пространственных измерения плюс время).

19. Когда происходит взаимодействие клубов облака с землей, инициируется расчет концентраций в воздухе и на поверхности земли в определенных узлах координатной сетки. Вслед за расчетом переноса и концентрации производится оценка возможных доз облучения и воздействия на здоровье населения, подвергшегося облучению. Отдельный программный модуль рассчитывает возможные дозы на основе коэффициентов пересчета доз для различных путей распространения. Поскольку выброс может характеризоваться различными размерами частиц, а разные прикладные программы могут отличаться по разрешению, в этом встроенном программном модуле значения коэффициентов пересчета доз не ограничиваются фиксированным перечнем размеров частиц. При пересчете дозы и медицинских последствий облучения учитываются и другие данные, касающиеся зон вероятного заражения, такие как плотность населения, характер землепользования, производство и потребление продовольствия.

20. Результаты расчета последствий сводятся в таблицы усредненных последствий, различных процентильных последствий и рисков (усредненное значение, умноженное на вероятность выброса). Составляются также дополнительные графики интегральной функции распределения. Эти графики

отражают вероятность того, что могут иметь место последствия определенного или более значительного уровня. Эти результаты обеспечивают техническую основу для оценки лицом, ответственным за принятие решений, степени риска, сопряженного с применением РЭС в космическом пространстве.

## **VI. Заключение**

21. Использование РЭС сделало возможным исследование глубин Солнечной системы от Солнца до Плутона, облет внешних планет и наблюдение их спутников, один необычнее другого, и полеты к внешним границам и за пределы Солнечной системы. Поскольку в РЭС часто содержится значительное количество радиоизотопных материалов, Соединенные Штаты учредили широкомасштабную программу обеспечения безопасности, дополняемую процедурой тщательной оценки риска для определения возможных рисков, связанных с миссиями, и обеспечения безопасного осуществления миссий. В соответствии с Рамками обеспечения безопасности проводимая Соединенными Штатами оценка риска является одной из важнейших функций в процессе проектирования и разработки РЭС и на всех этапах развития видов применения РЭС; поддерживает процедуру обоснования применения РЭС; и обеспечивает техническую основу для процедуры выдачи разрешения на запуск с учетом обеспечения ядерной безопасности.

---