

УДК 621.039.7:629.78

А. В. Дегтярев

Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля», Дніпропетровськ

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ВЫВЕДЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ В КОСМОС

Показано, что дальнейшее развитие мировой атомной энергетики может привести к недопустимому радиоактивному загрязнению биосферы Земли. Одним из направлений решения этой проблемы может быть выведение радиоактивных отходов в космос. Приведены оценки масс радиоактивных отходов, которые могут быть выведены в космос при использовании ракеты «Зенит-3SLБФ» и перспективной ракеты-носителя тяжелого класса. Решение этой проблемы связано с созданием международных документов, дающих, в частности, право государству или группе государств осуществлять пуски ракет-носителей, несущих на своем борту радиоактивные отходы.

Ожидаемое увеличение населения планеты и необходимость стабильного развития мировой экономики требуют значительного увеличения энергопотребления. По оценкам экспертов энергопотребление до 2020 г. должно увеличиться вдвое, до 2050 г. — втрое. Решение такой задачи в ближайшей и среднесрочной перспективе без использования и развития атомной энергетики вряд ли возможно.

Сегодня в 30 странах мира работают 430 промышленных атомных реакторов, более 160 реакторов находятся в стадии разработки, на строительство атомных блоков поступило более 60 заявок. Несмотря на крупные аварии на Чернобыльской АЭС и станции Фукусима, ориентацию на развитие атомной промышленности сохраняют развитые страны мира. В США действуют 104 атомных реактора, в России — 31, в Германии — 19, в Украине — 14.

Ориентация государств при развитии систем энергообеспечения на атомную промышленность вызвана следующими факторами:

- высокой концентрацией энергии в уране: 1 кг урана эквивалентен 20000 кг угля (соответственно в 20 тысяч раз уменьшается нагрузка на транспорт и складские помещения);

- минимальным загрязнением атмосферы: 2—6 г двуокси углерода на 1 кВт электроэнергии, что на два порядка меньше, чем при использовании угля, нефти или газа;

- минимально вредным влиянием на здоровье людей: смертность в зоне работы атомных электростанций (АЭС) в 300 раз меньше, чем в зонах теплоэлектростанций (ТЭС), работающих на угле;

- экономическими преимуществами — полная себестоимость электроэнергии АЭС ниже, чем на ТЭС при незначительной зависимости электроэнергии АЭС от стоимости топлива (двойное увеличение стоимости топлива приводит к увеличению стоимости электроэнергии для АЭС на 9 %, для ТЭС на угле — на 31 %, для ТЭС на газе — на 66 %).

Проблема защиты окружающей среды. Эксплуатация действующих и новых атомных станций приведет со временем к повышению угрозы заражения биосферы Земли радиоактивными отходами. К 2006 г. в мире накоплено более 200 тыс. т отработанного ядерного топлива. Ежегодно к ним добавляется 10—12 тыс. т. Прирост особо опасных радиоактивных отходов составляет 25—30 т в год в мире, в том числе 2.4—3 т в год в СНГ.

К основным источникам радиоактивных отходов (РАО) высокой активности следует отнести

ти также реализацию военных программ, эксплуатацию транспортных ядерных реакторов и радиохимических заводов [5].

Проблема изоляции радиоактивных отходов. Несмотря на то что атомная промышленность состоит на службе человека более полувека, прогресс в создании хранилищ радиоактивных отходов практически нет. Основной принцип, используемый при строительстве защитных сооружений, состоит в создании многочисленных пассивных барьеров на пути проникновения РАО в биосферу. В качестве барьеров используются приобъектные бассейны, способы иммобилизации в коррозионно-стойкие материалы, контейнеризация, захоронение в устойчивых геологических формациях.

В настоящее время используются два основных ядерно-топливных цикла, отличающихся уровнем радиоактивных отходов:

- закрытый ядерно-топливный цикл, при котором после 3-5 лет нахождения в приобъектном бассейне отработанное топливо попадает на радиохимический завод, где из него извлекают остаточный уран и плутоний с целью повторного использования; остаточные радиоактивные отходы размещают в стабильных геологических породах – могильниках; такой цикл реализован в России, Великобритании, Японии, Китае;

- открытый ядерно-топливный цикл, при котором радиохимической переработки топлива нет; отработанное топливо сохраняется длительное время в специальных хранилищах (до того времени, когда будет создано новое поколение реакторов [1]); такой путь избрали США, Канада, Швеция, Германия.

В первом случае частичное извлечение урана и плутония создает лишь видимость переработанного топлива, так как в нем еще остается значительное количество радиоактивных элементов. Кроме того, при переработке топлива образуются огромные объемы зараженных сточных вод, требующих соответствующего хранения и последующей утилизации.

Во втором случае все долгоживущие активные радионуклиды остаются в отходах. Длительное их хранение в специализированных хранилищах создает опасность того, что в случае техногенной

или природной аномалии громадное количество радионуклидов будет выброшено в атмосферу. Последствия такого выброса могут быть более катастрофическими, чем при аварии на Чернобыльской АЭС.

Учитывая увеличение объемов РАО и связанное с этим возрастание угрозы загрязнения биосферы Земли, учеными-ядерщиками во многих государствах ведутся усиленные исследования по разработке новых реакторов, позволяющих снизить уровень активности радиоактивных отходов.

Перспективные проекты переработки радиоактивных отходов. Есть ряд проектов переработки и утилизации радиоактивных отходов. На это выделяются значительные средства.

К числу таких проектов следует отнести проект уничтожения наиболее опасных радионуклидов «пережиганием» в поле интенсивного нейтронного излучения. Наиболее реальными считаются два направления: «пережигание» нежелательных нуклидов в специализированных быстрых реакторах при условии повышения жесткости нейтронного спектра по сравнению с энергетическим и создание устройств с высокой плотностью тепловых нейтронов.

Во Франции проектируется реактор четвертого поколения, продуцирующий меньше РАО и лучше использующий урановые ресурсы [9], в России — двухцелевой ядерный реактор на быстрых нейтронах, решающий две задачи: выработку тепла и электроэнергии и «дожигание» радиоактивных отходов до стабильных изотопов [8].

В Бельгии планируется разработка многоцелевого гибридного исследовательского реактора для высокотехнологических приложений с использованием в качестве топлива тория-232 [2]. Ядерные реакторы на ториевом топливе более безопасны. Ториевая энергия, в отличие от урановой, не нарабатывает плутоний и трансураниевые элементы, что важно как с экологической точки зрения, так и с точки зрения нераспространения ядерного оружия. Главное в конструкции ториевого реактора — невозможность аварий типа Чернобыльской или аварии на АЭС Фукусима (в случае выхода из строя любого из компонентов цепная реакция просто прекращается).

Разрабатываются электроядерные установки, позволяющие сжигать не только собственные долгоживущие РАО, но и принимать на себя уничтожение таких отходов с других АЭС, в том числе уже накопленных атомной промышленностью.

Следует заметить, что разработка и внедрение перспективных проектов по переработке РАО связаны с созданием новых электроядерных и термоядерных технологий, базирующихся на результатах новейших научных фундаментальных и прикладных исследований. Например, реализация глубокой химической переработки отработанного ядерного топлива с достаточно эффективным его разделением возможна пока лишь в перспективе при разработке эффективных мер безопасности, так как регенерация топлива требует перевода материала в газообразное состояние. Речь идет по существу о создании новой атомной промышленности, не имеющей опасных радиоактивных отходов. Это требует объединения значительных усилий множества специализированных государственных и частных организаций развитых стран мира, выделения в течение ряда лет значительных финансовых, технологических и технических ресурсов, а также продолжительного времени.

Хотелось бы, чтобы проблема радиоактивных отходов была решена на Земле, без использования космоса. Однако, учитывая неопределенность сроков создания такой промышленности, а также объемы ежегодного накопления радиоактивных отходов, сегодня целесообразно проводить исследования и по другим перспективным направлениям работ, связанных с изоляцией РАО. Одним из таких направлений является исследование возможности выведения РАО в космос.

Проблемные вопросы выведения радиоактивных отходов в космос. Впервые идею выведения радиоактивных отходов в космос высказал в 1959 г. академик П. Л. Капица, спустя тринадцать лет независимо от него — американский физик Д. Шлезинджер [7]. Интерес к удалению РАО в космос возрос после аварии на Чернобыльской АЭС. После аварии на атомной станции Фукусима появился ряд новых работ, связанных с

разработкой способов и систем защиты от радиоактивных отходов. На ГП «КБ «Южное» идея космического захоронения РАО в постановочном плане исследовалась в 1990-е гг. Вопросы о критериях безопасности биосферы Земли, а также требования к системе запуска «Земля—орбита» и к контейнеру для РАО рассмотрены в работе [4]. Технические, экономические и правовые проблемы выведения радиоактивных отходов в космос исследованы ГП «КБ «Южное» в текущем году [3].

Целесообразность выведения РАО в космос продиктована следующими соображениями:

- биосфера Земли не сможет сколь угодно долго ассимилировать возрастающие объемы РАО, производимых человечеством;
- нельзя исключать, что со временем размещенные на/в Земле радиоактивные отходы будут проникать в окружающую среду; нельзя также исключать проявления техногенных и природных аномалий в местах захоронения РАО, которые приведут к катастрофическим последствиям;
- захоронение РАО в космосе позволит удалить радиоактивные отходы на безопасное расстояние от Земли на время, пока не появятся высокотехнологические системы, способные проводить переработку РАО в условиях космического пространства;
- к настоящему времени ракетно-космическая техника достигла такого уровня развития, когда создание высоконадежных ракетно-космических комплексов (РКК), способных доставлять РАО на требуемые орбиты, не вызовет проблем принципиального характера; главным вопросом здесь будет выполнение жестких требований обеспечения безопасности при обращении с РАО, а также обеспечение высокой надежности систем защиты РАО при нештатных ситуациях.

Сложность решения проблемы выведения РАО в космос трудно переоценить. Необходимо пересмотреть современные знания о космосе и Вселенной на основе создания новой научной основы, которая позволила бы осознанно понимать последствия размещения РАО в космосе для человека и окружающего мира. Без создания мощной кооперации, объединения ресурсов, ши-

рокого международного обсуждения этой проблемы, а также разработки международно-правовых документов, дающих право государствам размещать РАО в космосе, решение этой проблемы вряд ли будет возможным.

О вариантах размещения радиоактивных отходов в космосе. Еще предстоит проведение емких и сложных исследований по выбору рационального варианта размещения радиоактивных отходов в космосе. Среди возможных вариантов можно отметить размещение РАО на орбитах планет Солнечной системы, исключая Землю, гелиоцентрических орбитах, незамкнутых орбитах для выведения РАО за пределы Солнечной системы, прямую транспортировку на Солнце и другие.

Следует заметить, что для транспортировки РАО на Солнце с опорной околоземной орбиты необходимо сообщить дополнительную характеристическую скорость около 24 км/с; требуемая характеристическая скорость для вывода КА за пределы Солнечной системы равна 8.75 км/с, что уменьшает полезную нагрузку ракет-носителей по сравнению со случаем использования гелиоцентрической орбиты.

Выбор основного варианта размещения РАО в космосе будет зависеть от достижимых в рассматриваемый период энергетических затрат, необходимых для получения требуемых скоростей, массово-энергетических характеристик ракет-носителей, предназначенных для выведения РАО в космос, возможностей глубокой переработки РАО в космосе, результатов анализа технико-экономических аспектов решения проблемы, а также решения международно-правовых вопросов, связанных с выведением РАО в космос.

Ниже, в качестве примера, для одной из возможных гелиоцентрических орбит с радиусом 1.15 а. е. [3] и предлагаемой схемы полета РН для выведения РАО в космос проведена оценка энергетических возможностей ракеты космического назначения «Зенит-3SLБФ» и перспективной РН тяжелого класса при старте с космодрома Байконур с учетом специфики обращения с РАО. В рассматриваемом случае РН тяжелого класса включает два разгонных блока. Первый создают на базе двигателя РД805К (удельный

импульс в вакууме 352 с). При суммарной массе полезного груза на опорной орбите 70 т масса разгонного блока 48 т и масса разгоняемого груза 22 т. Второй разгонный блок создают на базе РБ «Фрегат». При использовании его двигателя (удельный импульс в вакууме 333 с) требуемая масса топлива для импульса в афелии составляет 5.73 т, что соответствует одному из вариантов РБ «Фрегат».

Используемая при проведении оценок гелиоцентрическая орбита также требует серьезного и всестороннего обоснования. С технической и экологической точек зрения можно сказать, что гелиоцентрическая орбита с таким радиусом является достаточно устойчивой для обеспечения полной безопасности Земли. Кроме того, в случае столкновения контейнера с РАО с космическими телами на этой орбите распыленные РАО под воздействием солнечного ветра, представляющего непрерывный поток плазмы, радиально распространяющийся от Солнца со средней скоростью 400 км/с, будут уноситься на периферию Солнечной системы.

В состав верхней ступени каждой РН включали аэродинамическую капсулу с контейнером, содержащим РАО, и систему ее спасения (рис. 1, 2).

При этом полагалось следующее:

- ракетно-космический комплекс, предназначенный для выведения РАО в космос, создается в международной кооперации;
- в РКК внедрены решения по повышению надежности и безопасности выведения, включая резервирование жизненно важных систем и агрегатов;
- при аварийных пусках защита радиоактивных отходов обеспечивается бортовыми средствами аппарата и контейнером РАО;
- трассы полета РН оборудованы наземными и воздушными средствами слежения, способными при аварийных пусках с требуемой точностью определять место падения (приводнения) аэродинамической капсулы с контейнером РАО;
- азимуты пусков РН выбраны из условия обеспечения безопасности по трассе выведения, а опорные (парковочные) орбиты — из условий обеспечения радиационной безопасности старта

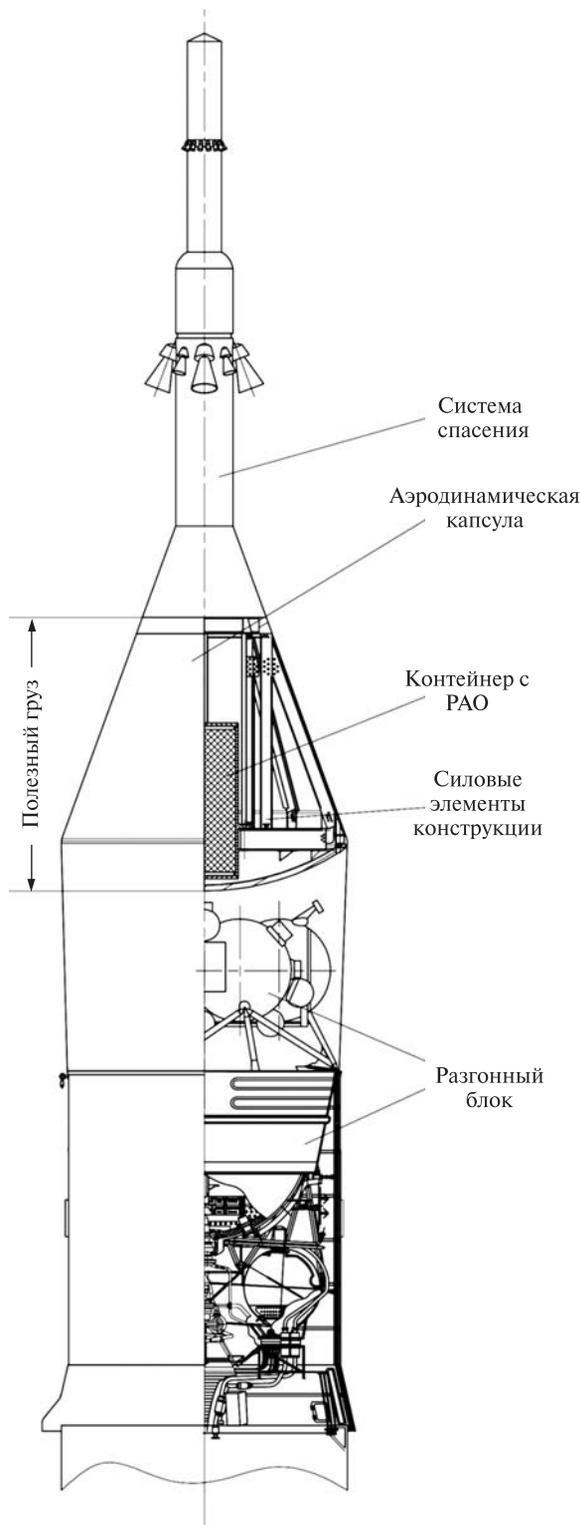


Рис. 1. Общий вид парковочной (разгонной) ступени РН с аэродинамической капсулой и контейнером с РАО

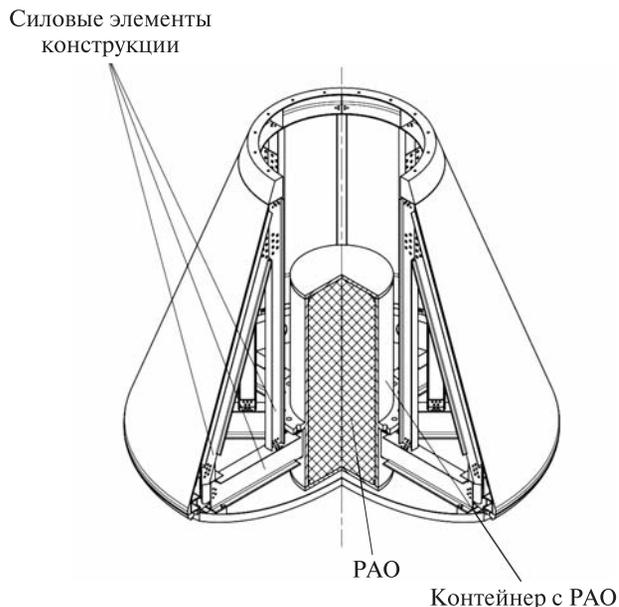


Рис. 2. Общий вид аэродинамической капсулы с контейнером РАО

ступени с РАО и исключения возможности столкновения с космическим мусором;

- высота парковочной орбиты обеспечивает резерв времени для парирования нештатных ситуаций и «эвакуации» РАО с использованием аэродинамической капсулы.

Кроме того, выбор конструкции и весовых характеристик аэродинамической капсулы с контейнером РАО проведен исходя из условия обеспечения экологической безопасности при нештатных режимах возвращения капсулы на Землю.

В качестве схемы выведения ракетой-носителем космического аппарата на гелиоцентрическую орбиту была принята схема, включающая четыре этапа:

- выведение разгонной ступени РН на парковочную эллиптическую орбиту непрерывной работой первых двух ступеней ракеты-носителя;
- формирование промежуточной орбиты первым включением маршевого двигателя третьей ступени в окрестности перигея парковочной орбиты;
- формирование отлетной геоцентрической орбиты (эллиптической гелиоцентрической) на конец второго включения;

– формирование гелиоцентрической круговой орбиты захоронения РАО дополнительным включением двигателя третьей ступени (или двигателя космического аппарата в афелии орбиты, сформированной предыдущим включением).

Параметры парковочной орбиты выбраны, исходя из условия обеспечения приемлемого времени существования парковочной (разгонной) ступени РН в случае нештатной ситуации, связанной с реализацией дальнейших этапов выведения.

Результаты расчетов показали, что при использовании принятой схемы полета масса, выводимая на заданную орбиту с помощью РН «Зенит-3SLБФ», составит 2.3 т, при использовании РН тяжелого класса — 15.1 т.

Оценки показали, что РКН «Зенит-3SLБФ» в обычной конфигурации не может использоваться для выведения РАО на заданную орбиту вследствие значительных весовых затрат на аэродинамическую капсулу и контейнер для РАО. Ситуация может измениться, если в схеме полета задействовать «космический» буксир, выполняющий транспортировку ИСС на гелиоцентрическую орбиту с достаточно высоких орбит (или в случае применения разгонной ступени с более эффективными компонентами топлива).

При использовании РН тяжелого класса масса РАО, доставленная на гелиоцентрическую орбиту, составит 6.33 т. При этом масса аэродинамической капсулы составит 27 % общей массы, выводимой на орбиту, а масса контейнера для РАО — 24 %.

О выведении энергетических установок с ядерным топливом в космос. Дальнейшее освоение космоса проблематично без использования космических аппаратов с ядерными энергетическими установками на борту. При длительных полетах и движении в сторону от Солнца эффективность солнечных батарей падает. Например, при перелете на Марс с использованием солнечной энергии потребовались бы солнечные батареи общей площадью в несколько футбольных полей. Примером эффективного использования генераторов с ядерным топливом могут служить генераторы американского космического аппа-

рата «Кассини»¹: три генератора, содержавших на момент старта 33 кг плутония. Именно они обеспечивают его энергией при полете к планете Сатурн и ее исследовании в течение более 15 лет. Без использования ядерных генераторов обеспечение энергией всех систем «Кассини» в течение такого продолжительного времени было бы вряд ли возможно.

Другой пример. Перелет на Марс при использовании современных химических двигателей будет длиться около двух лет. Осуществив посадку на Марс, нужно находиться на его поверхности по крайней мере 2–3 недели для проведения исследований. В течение этого срока экспедицию необходимо обеспечивать теплом и энергией. Современные космические корабли имеют уровень энергетического обеспечения 20–30 кВт. Осуществить марсианскую миссию с таким уровнем энергообеспечения практически невозможно. Необходима разработка ядерных источников энергии мегаваттного класса.

Кроме того, при таком перелете целесообразно использовать вместо химических двигателей ядерные энергодвигательные установки (ЯЭДУ)². Удельный импульс таких двигателей

¹ Автоматический аппарат «Кассини» — один из наиболее сложных аппаратов, созданных NASA в сотрудничестве с европейским и итальянским агентствами. Его стартовая масса примерно 6 т, высота более 10 м. С момента старта «Кассини» прошло более 15 лет и уже более восьми лет этот аппарат работает вблизи планеты Сатурн. За прошедшее время «Кассини» передал более 444 гигабайт информации, в том числе более 300 000 изображений. Среди них — виды самой планеты, ее лун с разных дистанций, снимки поверхности Титана с европейского спускаемого аппарата «Пойгенс», совершившего в январе 2005 г. первую в истории посадку на этом небесном теле. В настоящее время работа «Кассини» продлена до 2017 г. [9].

² Лидером в создании ЯЭДУ является Россия. В настоящее время в стадии завершения разработки находится ядерная компактная энергетическая установка мощностью 1000 кВт с двигателями на электрореактивной тяге. Возможен вариант, при котором двигатели будут работать на ксеноне, разогретом до высокой температуры. Нельзя исключать, что в последующем может быть создана международная программа разработки ЯЭДУ (по примеру Международной программы сотрудничества в сфере создания управляемого термоядерного синтеза).

по сравнению с химическими больше в 20 раз, стартовая масса экспедиционного комплекса в сравнении с комплексом на базе химического двигателя уменьшится с 2000 до 500 т.

Следует отметить, что последствия для экологии, связанные с аварийным разрушением изотопных и ядерных ЭДУ, на различных стадиях эксплуатации могут быть сравнимы с последствиями аварийного разрушения контейнера с РАО. Учитывая проблематичность дальнейшего освоения космоса при проведении длительных полетов, а также тот факт, что деятельность, связанная с использованием ядерных источников энергии в космическом пространстве, должна осуществляться в соответствии с международным правом, Комитетом ООН по космосу были сформулированы «Принципы, касающиеся использования ядерных источников энергии в космическом пространстве», утвержденные резолюцией Генеральной Ассамблеи ООН в 1992 г. В соответствии с третьим Принципом этого документа «...для сведения к минимуму количества радиоактивного материала в космосе и связанных с этим рисков использование ядерных источников энергии в космическом пространстве ограничивается теми космическими полетами, которые не могут осуществляться разумным способом с использованием неядерных источников энергии...»

Проблемные вопросы разрешительных норм международного права. К настоящему времени создана основательная международно-правовая база деятельности в космосе на уровне ООН, МАГАТЭ и законодательства государств. Нормативно-правовая база ООН в космической области определяется пятью крупными международными документами и пятью резолюциями, принятыми в разные годы Генеральной Ассамблеей ООН. Основные их положения направлены на обеспечение безопасности мирового сообщества и ответственности государства за причиненный ущерб при нештатных ситуациях, связанных с космической деятельностью.

Усилиями МАГАТЭ разработан всеобъемлющий комплекс норм безопасности в области ядерной энергетики, радиационной защиты, обращения с радиоактивными отходами и пе-

ревозок радиоактивных материалов для условий обращения РАО на Земле. Нормы периодически обновляются и выпускаются в форме серий норм этой организации.

К настоящему времени сформирован один из основных принципов международного права — принцип непричинения ущерба окружающей среде. Наиболее полно он сформулирован в XXI Стокгольмской декларации об окружающей среде 1972 г.: «...государства несут ответственность за обеспечение того, чтобы деятельность в рамках их юрисдикции или контроля не наносила ущерба окружающей среде других государств или районов за пределами действия национальной юрисдикции».

Вопрос о правомочности государств или группы государств осуществлять космические пуски ракет-носителей, несущих на своем борту радиоактивные отходы, к настоящему времени не урегулирован. Более того, несмотря на разрешение выводить в космос космические аппараты с энергетическими установками с ядерным топливом, ряд действующих международно-правовых и законодательных норм содержит прямые запреты, рекомендации и ограничения на осуществление отдельных действий, необходимых для реализации космического захоронения РАО.

Урегулирование вопроса о правомочности выведения РАО представляется сложной проблемой. Следует учитывать, что даже при получении такого права государствами или группами государств потребуется согласование на уровне ООН и МАГАТЭ космодромов для запуска ракет-носителей с РАО, трасс полета РН, защиты космодрома от потенциальных групп террористов, а также результатов международной экспертизы проектов с точки зрения экологической безопасности.

Разработка и согласование разрешительной части международного права и законодательства государств в части вывода РАО в космос должны проводиться Рабочей группой ООН, имеющей в своем составе юристов, ученых-ядерщиков, разработчиков ракетно-космической техники и других специалистов.

Резюмируя изложенное, можно сказать следующее:

- одной из проблем, с которой может столкнуться мировое сообщество в среднесрочной и дальнейшей перспективе, является защита биосферы Земли от радиоактивных отходов атомных реакторов, число которых неуклонно растет (сегодня в странах мира работают 430 промышленных атомных реакторов, более 160 реакторов находятся в стадии разработки, на строительство новых атомных реакторов поступило более 60 заявок);

- несмотря на то что атомная промышленность состоит на службе человека более полувека, прогресс в создании эффективных хранилищ радиоактивных отходов мало заметен; основной принцип, используемый при строительстве защитных сооружений, состоит в создании многочисленных пассивных барьеров на пути проникновения отходов в биосферу Земли (приобъектные бассейны, иммобилизация в коррозионно-стойкие материалы, контейнеризация, захоронение в устойчивых геологических формациях);

- биосфера Земли не может сколь угодно долго ассимилировать все возрастающие объемы радиоактивных отходов, производимых человечеством; нельзя исключать, что со временем размещенные на/в Земле радиоактивные отходы будут проникать в окружающую среду; следует также учесть, что возможные техногенные и природные катастрофы в местах захоронения РАО могут привести к массовым негативным последствиям;

- в целях снижения опасности радиоактивного загрязнения биосферы Земли во многих странах мира ведутся интенсивные исследования по созданию новых реакторов, позволяющих уничтожать наиболее активные радионуклиды или «дожигать» радиоактивные отходы до стабильных изотопов; однако для полномасштабной разработки и внедрения таких реакторов необходимо продолжительное время, связанное с созданием соответствующих электроядерной и термоядерной технологий;

- одним из возможных путей изоляции радиоактивных отходов является захоронение РАО в космосе, что позволит удалить радиоактивные отходы на безопасное расстояние от Земли на

время, пока не появятся высокотехнологические системы, способные проводить переработку РАО в условиях космического пространства;

- при создании ракетно-космических комплексов, предназначенных для выведения РАО в космос, должны выполняться нормы ООН, МАГАТЭ и законодательства государств по обращению с радиоактивными отходами как при работах на космодроме, так и в процессе подготовки и пуска; при выведении РАО на орбиту должна обеспечиваться повышенная надежность РН на старте и в полете на всех участках траектории движения, а также повышенная надежность систем, обеспечивающих защиту РАО в случае нештатных ситуаций на любом участке полета и при хранении на орбите;

- дальнейшее освоение космоса невозможно без применения на космических аппаратах (кораблях) изотопных энергетических установок на ядерном топливе; в связи с этим резолюцией Генеральной Ассамблеи ООН разрешается в ограниченных случаях выводить космические аппараты с такими установками на борту в космическое пространство, хотя экологические риски при выведении этих аппаратов будут сопоставимыми с рисками при выведении в космос контейнеров с радиоактивными отходами;

- примером эффективного использования энергетических установок на ядерном топливе в космосе могут служить три изотопных энергетических генератора, содержавших на момент старта 33 кг плутония, американского аппарата «Кассини»; их применение позволило обеспечить энергией все системы «Кассини» в течение более 15 лет;

- создание РКК для выведения РАО в космос в международной кооперации с участием ГП «КБ «Южное» на базе РКН «Зенит-3SLБФ» и перспективной РН тяжелого класса позволит выводить на предлагаемую гелиоцентрическую орбиту полезные массы 2.3 и 15.1 т соответственно.

- для использования РКН «Зенит-3SLБФ» при запусках космических аппаратов с РАО вследствие значительных затрат полезной массы на создание аэродинамической капсулы и контейнера для РАО с требуемой защищенностью

необходимо применение «космического буксира» для транспортировки ИСС с высоких орбит на гелиоцентрическую орбиту (или разгонных ступеней с более эффективными компонентами ракетного топлива); при применении РН тяжелого класса масса РАО, доставленная одним запуском ракеты-носителя, составит 6.3 т; при этом масса аэродинамической капсулы составит 27 % общей массы, выводимой на орбиту, а масса контейнера РАО для заданного изотопного состава радиоактивных отходов — 24 %;

- одним из наиболее сложных проблемных вопросов является международное и законодательное урегулирование правомочности государства или группы государств осуществлять космические пуски ракет-носителей, имеющих на своем борту РАО; вопрос о правомочности государств или группы государств осуществлять космические пуски ракет-носителей, несущих на своем борту радиоактивные отходы, к настоящему времени не урегулирован; более того, ряд существующих международно-правовых и законодательных норм содержит прямые запреты, рекомендации и ограничения на осуществление отдельных действий, необходимых для реализации космического захоронения РАО;

- подготовка соответствующих международных и законодательных документов по вопросу захоронения РАО в космосе должна проводиться специальной Рабочей группой ООН, имеющей в своем составе юристов, ученых-ядерщиков, разработчиков ракетно-космической техники и других специалистов.

Заключение. Лучше всего, чтобы проблема изоляции РАО от биосферы Земли была решена созданием нового поколения реакторов и систем без использования космоса. Однако темпы разработки таких реакторов и систем, а также неопределенность сроков их создания и массового внедрения ставит на повестку дня вопрос о необходимости исследований других перспективных направлений изоляции РАО. Неоспоримым преимуществом предлагаемого варианта является возможность удаления РАО на безопасное расстояние от Земли на продолжительное время, имеющаяся мощная техническая база для решения этой задачи в форме современных

ракетно-космических комплексов и космических систем, способных обеспечить надежные запуски контейнеров РАО в космос и осуществлять действенный контроль за их состоянием. Вместе с тем эта проблема очень сложна. Для ее решения необходимо пересмотреть современные знания о ближнем космосе и создать новую научную основу, которая позволила бы осознавать последствия размещения РАО в космосе для человека и окружающего мира. Без создания мощной мировой кооперации, объединения ресурсов, широкого международного обсуждения целесообразности реализации такого подхода, а также разработки международно-правовых документов, дающих право государствам размещать РАО в космосе, положительное решение вряд ли будет возможным. Однако, несмотря на все сложности, мировому сообществу, по мнению автора, уже сегодня необходимо заняться исследованием данной проблемы, пока уровень загрязнения биосферы Земли радиоактивными отходами не достиг критического значения.

1. Бекман И. Н. Радиохимия: Курс лекций. — М.: МГУ им. М. В. Ломоносова, 2006. — 568 с.
2. Березин А. Радиоактивные отходы сделают ториевые реакторы дешевле // *Ann. Nucl. Energy.*—2013.
3. Дегтярев А. В., Кушнарев А. П., Дегтяренко П. Г. и др. Технические, экономические и правовые проблемы выведения радиоактивных отходов в космос. — Днепропетровск: НТО / ГП «КБ «Южное», 2013.
4. Дегтярев А. В., Кушнарев А. П., Слюняев Н. Н. и др. Критерии оценки безопасности биосферы Земли и окружающей среды. Требования к системе запуска «Земля-Орбита» и к контейнеру с отходами. — Днепропетровск: НТО / КБ «Южное», 2006.
5. Дублянский Ю. В. Захоронение радиоактивных отходов: проблемы и концепции в США и России. — <http://modernproblems.org.ru/ecology/31-radioact.pdf>.
6. Ильин А. «Cassini»: 15 лет в космосе // *Новости космонавтики.* — 2013. — 23, № 1 (360).
7. Катерняк Л. Очистка биосферы: удаление отходов в космос // *Наука и жизнь.* — 1994. — № 3.
8. Сибирь атомная. XXI век // Тез. II Всерос. науч.-практич. конф., Железногорск, Красноярский край, 27—29 января 2010 г. — Железногорск: Атом-пресса, 2010. — № 5 (893).
9. *Nuclear engineering handbook* / Ed. by K. D. Kok. — Boca Raton: CRC Press, 2009. — 786 p.

Стаття надійшла до редакції 18.07.13

О. В. Дегтярьов

ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ВИВЕДЕННЯ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ У КОСМОС

Показано, що подальший розвиток світової атомної енергетики може призвести до недопустимого радіоактивного забруднення біосфери Землі. Зазначено, що одним з напрямів вирішення цієї проблеми може бути виведення радіоактивних відходів у космос. Наведено результати оцінювання мас радіоактивних відходів, які можуть бути виведені у космос при використанні ракети космічного призначення «Зеніт-3SLБФ» і перспективної ракети-носія важкого класу. Вирішення цієї проблеми пов'язано зі створенням міжнародних документів, що дають, зокрема, право державі або групі держав здійснювати пуски ракет-носіїв, які несуть на своєму борту радіоактивні відходи.

A. V. Degtyarev

PROBLEMATIC ISSUES OF RADIOACTIVE WASTE INJECTION INTO SPACE

It is shown that further development of world nuclear power engineering can result in impermissible radioactive contamination of the Earth's biosphere. One of the ways for solution of that problem can be injection of radioactive waste (RAW) into space. We present some results of estimation of RAW masses which can be injected into space with the use of existing Zenit-3SLBF Integrated Launch Vehicle and perspective Heavy Class Launch Vehicle. The solution of the problem under consideration is connected with preparation of international documents making it possible for a state or for a group of states to perform launches of launch vehicles with RAW onboard.