

Анализ способов улучшения экологических характеристик ракет-носителей

Казаков Р.Р.^{1*}, Мингалиев Э.Р.^{2}**

¹*Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского,*

ВКА имени А.Ф.Можайского, Ждановская, 13, Санкт-Петербург, 197082, Россия

²*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия*

**e-mail: xoxlov1984@bk.ru*

***e-mail: m-e-r.69@mail.ru*

Аннотация

В настоящее время на запуски ракет-носителей, накладываются ограничения различного рода. Основные из них связаны с вопросами экологической безопасности в районах падения отработавших ступеней и в зонах отчуждения выделяемых под них. В статье рассмотрены основные негативные последствия запусков различных средств выведения на окружающую среду и население, проживающее вблизи районов падения. Предложены способы повышения экологической безопасности ракет-носителей.

Ключевые слова: ракета-носитель, космический аппарат, отделяющаяся часть, район падения, компоненты ракетного топлива, окружающая среда.

Введение

Современный этап развития вооружения и военной техники и, в частности, космических систем характеризуется потребностью обеспечения жестких требований по целевому предназначению в условиях финансовых ограничений, обусловленных реформированием как Вооруженных Сил, так и военно-промышленного комплекса страны. Этот процесс сопровождается значительным усложнением образцов космической техники и существенным ужесточением требований к их тактико-техническим характеристикам.

К средствам выведения космических аппаратов (КА) в целом, и к ракетам-носителям (РН) в частности предъявляется широкий спектр требований, касающийся энерговооруженности, экологичности, массово-габаритных характеристик выводимого полезного груза и т.д. Однако для достижения основных целей полета КА основным является требование обеспечения необходимой точности выведения его на заданную орбиту [1].

Запуски КА сопровождаются падением на землю отделяющихся частей (ОЧ) РН. К отделяющимся частям РН относятся элементы конструкции трех ступеней РН.

В результате падения ступеней РН возникает проблема попадания в окружающую среду (ОС) компонентов ракетного топлива (КРТ), которые остаются на борту ОЧ РН. Попадание КРТ в ОС происходит из-за разгерметизации баков ОЧ РН при их разрушении в атмосфере или от удара о поверхность Земли. Во всех случаях попадание КРТ наносит значительный ущерб ОС [2].

Для приема ОЧ РН отводятся заблаговременно выбранные участки территории – районы падения (РП) ОЧ РН, пролегающие вдоль трасс траектории движения РН. РП чаще всего представляется в виде эллипса на поверхности Земли, большая ось которого совпадает с азимутом полета РН. Для некоторых РН могут выделяться несколько РП.

Особенности эксплуатации районов падения отделяющихся частей ракет-носителей

Работы по обеспечению безопасности на территории РП ОЧ РН, в том числе и экологического мониторинга, проводятся в соответствии с техническими заданиями на обеспечение запуска КА. В этих технических заданиях предусмотрен исчерпывающий и конкретный перечень мероприятий по обеспечению безопасности как на территории РП, так и по трассе полёта РН [1].

Использование РП на территории Российской Федерации (РФ) и иностранных государств осуществляется в соответствии с договорами, заключаемыми Роскосмосом с органами исполнительной власти субъектов РФ, на территории которых находятся эти районы. Порядок и условия эпизодического использования районов падения определён Постановлением Правительства РФ от 31 мая 1995г. №536.

Условиями договоров предусмотрено проведение в РП мероприятий по обеспечению безопасности людей, экологическому мониторингу, охране окружающей природной среды и др. при каждом пуске РН, составляющих содержание понятия эксплуатации РП ОЧ РН. Выполнение этих условий и

эксплуатация российских районов падения Федеральным космическим агентством поручены ФГУП "Центр эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры" (ЦЭНКИ).

Использование РП и обеспечение безопасности в них при проведении запусков КА организованы и проводятся ФГУП «ЦЭНКИ» во взаимодействии, как правило, с соответствующими структурами, занимающимися проблемами гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций в субъектах РФ, местными природоохранными органами и другими организациями по согласованию с администрациями субъектов.

Специфической особенностью РП ОЧ РН является то, что в них нет постоянно проживающего населения. В этих районах ведется постоянный мониторинг состояния природной среды, а на территориях, сопредельных с РП ОЧ РН – проводится периодическая оценка состояния здоровья населения, кроме того, после каждого пуска отбираются пробы объектов природной среды и проводится их анализ.

При запуске коммерческих спутников администрациям регионов, на территории которых расположены районы падения, выплачиваются компенсации за использование их земельных участков, в соответствии с Постановлением Правительства РФ № 350 от 24 марта 1998 года.

Последствия попадания высокотоксичных компонентов ракетного топлива в окружающую среду

Пути попадания КРТ во внешнюю среду определяются условиями

возникновения штатных и нештатных ситуаций, среди которых можно определить:

1. Штатные операции:

- сброс КРТ при пуске РН;
- выброс КРТ при падении ОЧ РН.

2. Нештатные ситуации:

- аварийные ситуации;
- возникновение течей и разрывов;
- взрывы различных масштабов;
- разрушения элементов оборудования.

Нештатные ситуации носят выраженный случайный характер. Практика эксплуатации ракетно-космической техники не исключает вероятность их возникновения.

Значительный интерес представляет проблема падения потенциально опасных ОЧ РН для ОС и населения, так как она требует периодического прекращения хозяйственной деятельности в опасных регионах или, в отдельных случаях, эвакуации населения [3].

Помимо механического загрязнения металлическими обломками и фрагментами ОЧ заправляемых токсичными КРТ, РП загрязняются также остатками топлива. При входе в плотные слои атмосферы отработавшая первая ступень разрушается, остатки КРТ частично сгорают, частично переходят в капельно-жидкое и газообразное состояние в результате аэродинамического нагрева. Оставшаяся

часть КРТ находится в скрытых полостях двигателя и попадает на территорию РП ОЧ (порядка 30% от первоначальной массы).

Специалисты космодрома Плесецк проводят работы по улучшению в РП экологической ситуации, включающие очистку территории от фрагментов ОЧ РН, определению масштабов загрязнения земель КРТ и повышению степени экологической чистоты РН.

Как было сказано выше, в баках ОЧ РН всегда остаются невыработанные остатки КРТ. Исключением являются вторые ступени некоторых РН, удаление КРТ из баков которых происходит на заатмосферном участке их спуска с помощью открытия заправочных и дренажно-предохранительных клапанов [4]. Некоторые данные по невыработанным остаткам топлива в баках ОЧ некоторых РН, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Масса остатков КРТ в баках ОЧ некоторых РН, использующих токсичные КРТ

Наименование РН	КРТ	Масса остатков КРТ, кг		
		1 ступень	2 ступень	Всего
Космос–3М	АК-27И	1364	-	1364
	НДМГ	667	-	667
Союз Молния	Керосин Т-1	1200	450	1650
	Кислород	2300	1100	3400
	Перекись водорода	500	260	760
Протон–К	АТ	3125	1003	4128
	НДМГ	1751	517	2268

Даже в штатном режиме риск для здоровья населения в районах ракетно-космической деятельности существует от точки старта РН по всей трассе полета. На местности на расстояниях от точки старта до 800 км при двухступенчатом

выведении и до 2500 км при трехступенчатом образуются «пятна» площадью 1500-5000 км², усеянные фрагментами баллистических ракет и РН.

Влияние гептила на окружающую среду в районах падения

Главной причиной возникающих в РП проблем является использование разнотипных РН, при создании и модификации которых не ставилась цель уменьшения количества и размеров отчуждаемых земель, а также недопущения их загрязнения КРТ. Вот почему вопросы экологической безопасности в этих местах являются актуальными [5].

С этой целью изучаются механизмы воздействия ракетно-космической техники на объекты ОС, проводится оценка состояния ОС, определяются критерии допустимых воздействий, разрабатываются способы и методы снижения негативного воздействия КРТ.

Опытные и учебные пуски РН связаны с загрязнением обширных территорий по траектории их полета. Существенный вред природным объектам наносится как самими элементами конструкции ОЧ РН, так и остатками невыработанных КРТ. Площадь одного загрязнения в зависимости от гидрометеорологических и географических особенностей места падения ОЧ РН может достигать нескольких км², кроме того компоненты КРТ и продукты их превращения могут мигрировать с природными водами на расстояния до нескольких сотен километров.

Существует множество различных КРТ используемых в настоящее время на РН. Одним из самых опасных является гептил (1, 2-несимметричный диметилгидразин (НДМГ)) представляет собой токсин 1-го класса опасности. При

содержании в воздухе количества НДМГ 0,01 мг/л через несколько минут возникает тяжелое отравление. За время длительного использования НДМГ в Вооруженных Силах (ВС) СССР накоплен большой материал, свидетельствующий о неблагоприятном воздействии гептила на здоровье личного состава ВС [5].

На десятилетия места разлива гептила превращаются в гиблые места, опасные для жизни человека. Этот КРТ обладает высокой текучестью: попав на землю, он сразу же уходит до влажности (в сухой лёгкой почве на глубину до 3-х метров), растворяется в воде и когда идет дождь, поднимается вверх. Российские ученые, исследующие это вещество, находят его уже в течение 34 лет на одних и тех же местах. Специфические физико-химические свойства гептила делают его крайне сложным, а на практике – невозможным его обезвреживание и дегазацию местности после химического заражения.

При падении бака, остатки топлива рассеиваются в воздухе, образуя ядовитый смог, осаждающийся на землю по траектории движения первых и вторых ступеней ракет. Таким образом, идет постепенное загрязнение всеми КРТ ОС вдоль трасс полета ракет. Загрязнение огромных территорий нарастает с каждым новым запуском.

Ступени с остатками НДМГ падают в океан уже давно, причем у большинства государств, осуществляющих космические запуски, вообще нет сухопутных РП. Но, несмотря на это, о характере поведения НДМГ и его токсичных производных в морских экосистемах известно очень мало [5]. Неизвестны даже летальные концентрации этих веществ для морских гидробионтов. Они могут быть различны в

зависимости от принадлежности организмов к тому или иному токсину и жизненной форме. Для исследования подобных проблем необходимо проведение серии экспериментов со стандартным набором тест-объектов, принятых в морской экотоксикологии и последующим уточнением в опытах на основных видах гидробионтов в море на разных стадиях их развития.

Существующие способы повышения экологической безопасности на основе обезвреживания выбросов компонентов ракетного топлива

Сейчас наиболее разработанной является система гигиенических нормативов. В качестве основных показателей она имеет предельно-допустимую концентрацию (ПДК) загрязнителей в природных средах (воде, почве и воздухе) и продуктах питания, значения предельно-допустимых выбросов и сбросов. Эти показатели, главным образом, основываются на санитарно-гигиенических и рыбохозяйственных нормативах.

При обезвреживании мест заражения токсичным продуктом можно условно выделить два этапа:

1. Обнаружение, в том числе, с использованием методов прогнозирования, места падения ОС РН;

2. Дезактивация проливов КРТ.

Во многих случаях локализация и дезактивация проводятся при обезвреживании одновременно, что обусловлено применением одного или нескольких взаимодействующих технологических процессов при обезвреживании.

До настоящего времени для локализации проливов НДМГ наиболее часто использовался метод предотвращения растекания пролитого компонента. Он заключается в:

- детальном выяснении границы зараженного участка и путей возможного распространения КРТ;
- последующем обволакивании места пролива.

Эти процессы очень простые в применении, но не обеспечивают снижение испаряемости продукта и его подвижности при миграции по профилю почвы.

Применяемые в настоящий момент методы дегазации можно разделить на физические и химические. Физические методы основаны на снижении концентрации вещества за счет его удаления или рассеяния, разбавления в ОС, а также на уменьшении скорости перехода вещества в ОС за счет указанных воздействий или изоляции вещества в материале. Химические методы основаны на снижении концентрации токсиканта за счет его разложения до нетоксичных (малотоксичных) продуктов.

К физическим методам дегазации можно отнести:

- экстракцию НДМГ из почвы с помощью различных растворителей;
- частичную замену загрязненной почвы на чистую с последующим перемешиванием;
- смывание НДМГ с поверхности почвы различными растворами;
- нанесение на поверхность загрязненной почвы изолирующих материалов или веществ, обладающих сорбирующими свойствами;

– термическую обработку почвы на местности или на специальном оборудовании после выемки;

– вентилирование почвы.

Наиболее широко в настоящее время применяется термический метод обезвреживания. Грунт срезается на глубину проникновения продукта, собирается в металлические поддоны, смешивается с керосином и сжигается. В некоторых случаях почва просто перекапывается на всю глубину пролива, смешивается с бензином и сжигается. Обработанное место пролива может быть засыпано чистой почвой.

Основным недостатком такого способа дезактивации, при очевидной простоте реализации, можно считать высокую стоимость.

К примеру, термическое воздействие может быть реализовано также с помощью разогретых газовых струй и потока перегретого пара. В случае больших очагов загрязнения возможен вариант одновременного или последовательного обезвреживания почвы путем вентилирования, промывки и локального нагрева. Но совокупное использование нескольких методов, даже несмотря на высокие затраты, не приводит к полному обезвреживанию почв и, тем более, восстановлению их свойств.

Термическое разложение НДМГ в почве может быть реализовано на специальном оборудовании. Явным достоинством использования термоагрегатов является возможность дезактивации вторичных продуктов и обеспечение текущего контроля концентрации веществ во время протекающих процессов.

В меньшей степени воздействие на почву происходит при использовании искусственных и естественных сорбентов, имеющих различную поглотительную емкость. Они просты и удобны в применении, но способны обезвредить загрязнение, главным образом, только поверхностного слоя. Наличие в составе сорбентов катализаторов разложения или химически активных веществ позволяет реализовать не только физические, но и химические возможности дезактивации.

В РНЦ "Прикладная химия" разработан метод локализации проливов НДМГ с одновременной их нейтрализацией. Метод основан на использовании соединений металлов 1-3 групп периодической системы для перевода аминов и гидразина в твердые комплексные соединения. В качестве локализатора для НДМГ предложено соединение «наволит», представляющее собой водный раствор хлоридов цинка и магния. Главным достоинством этого соединения является возможность его использования для совместной локализации проливов горючих и окислителей. Однако остаются неисследованными вопросы детоксикации глубинных слоев почвы и утилизации продукта нейтрализации - так называемого «навозина».

В настоящее время проведены исследования по использованию различных загустителей и пенообразователей в качестве возможных локализаторов и дезактиваторов проливов НДМГ. Развитие и широкое внедрение данного способа зависит от выделения достаточных средств. Поэтому наиболее распространенным методом дезактивации почв остается нанесение на почву хлорной извести или кашицы ДТС-ГК. Это наиболее простой и широко применяемый метод с низкой стоимостью, который не позволяет обеспечить дезактивацию по всему

загрязненному профилю почвы. Его недостатками являются невозможность детоксикации глубинных почвенных слоев и необходимость уборки кашицы нейтрализационного раствора.

В качестве нейтрализаторов могут рассматриваться практически любые химические вещества, способные после контакта с НДМГ привести к его превращению в нетоксичные или малотоксичные соединения.

Достаточно простым методом химического обезвреживания можно считать растворение КРТ в воде или водных растворах. Но очевидно, что это может привести к повышению возможности переноса компонента из очага загрязнения.

Представленные методы не определяют полный перечень возможных методов обезвреживания. Все способы детоксикации могут быть проанализированы в технологическом, экологическом и экономических аспектах. Технологический аспект означает рассмотрение эффективности и приемлемости метода в конкретных условиях. В экологическом аспекте рассматривается степень полноты обезвреживания, включая и вторичные продукты. В экономический аспект входит прямая и сравнительная оценка затрат на обезвреживание КРТ различными методами.

Проблема обеспечения необходимой эффективности при ликвидации последствий проливов до конца не решена.

Основные проблемы проведения дезактивации обнаруженных проливов связаны с доставкой к ним средств обезвреживания. Конструкторские проработки и опытные модели показывают возможность появления серийных образцов, которые

позволят решить задачи по дезактивации почв. К таким агрегатам можно отнести совместную разработку РНЦ «Прикладная химия» и КБ «Мотор».

Таким образом, можно подчеркнуть, что эффективность обезвреживания пролива связана:

- с оперативностью обнаружения пролива;
- с возможностью быстрой доставки средств обезвреживания к местам падения ОЧ РН;
- с удобством вывоза остатков ОЧ РН и продуктов дезактивационной деятельности из РП к местам утилизации.

Способы повышения экологической безопасности в районах падения

Для улучшения экологических характеристик РН необходимо минимизировать выброс невыработанных КРТ из ОЧ РН во время спуска и при ее соударении о поверхность Земли. В настоящее время, для решения этих задач существует несколько способов, некоторые из них реализованы на РН [6].

Как показывает практика эксплуатации, использование способов сброса КРТ различными путями из баков ОЧ РН во время спуска усугубляет ситуацию с эллипсами рассеивания точек падения, кроме того существует угроза разрушения озонового слоя атмосферы. И наоборот, используя способы уменьшения площадей эллипсов рассеивания, количество выбросов высокотоксичных КРТ не уменьшается [7].

Рассмотрим все возможные способы:

- обеспечение падения ОЧ в заданные районы;
- выжигание остатков КРТ в ОЧ на пассивном участке полета;
- использованием более экологичного топлива для заправки РН;
- сброс остатков КРТ из ОЧ.

Таким образом, возникает необходимость в проведении сравнительного анализа способов улучшения экологических характеристик РН с целью выбора наиболее оптимального. Такое сравнение представлено в таблице 2.

Таблица 2

Анализ способов улучшения экологических характеристик РН

№ п/п	Способ	Уменьшение количества КРТ в точке падения ОЧ	Исключение возможности падения ОЧ РН за пределы РП	Безопасность для озонового слоя атмосферы	Отсутствие необходимости в доработке конструкции ОЧ	Требуемые энергетические характеристики
1	Обеспечение падения ОЧ в заданные районы	-	+	+	+	+
2	Выжигание остатков КРТ в ОЧ на пассивном участке полета	+	-	+	-	+
3	Использование экологичного топлива для заправки РН	+	-	+	+	-
4	Сброс остатков КРТ из ОЧ	+	-	-	-	+

Из таблицы видно, что наиболее выигрышными являются 1 и 2 способы. Обеспечение падения ОЧ в заданные районы не позволяет уменьшить количество КРТ в ОЧ, но практически исключает возможность падения ОЧ за пределами РП. Данный способ позволяет обеспечить падение ОЧ в район, удаление остатков КРТ из которого будет менее дорогостоящим и более удобным, а также с наименьшими последствиями для ОС, при этом реализуется за счет внесения корректировок в алгоритм управления РН перед стартом.

Способ выжигания остатков КРТ в ОЧ на пассивном участке позволяет избавиться от остатков КРТ до падения ОЧ, за счет чего является более выигрышным по сравнению с обеспечением падения ОЧ в заданный район. Но в тоже время имеет существенный недостаток – требуется доработка конструкции ОЧ, а это влечет не только дополнительные финансовые расходы, но и утяжеление конструкции ОЧ и РН в целом.

Два других способа имеют еще больше недостатков. Сброс остатков КРТ не только требует доработки имеющихся ОЧ РН, при этом не может исключить падения ОЧ за пределами РП, но и может привести к разрушению озонового слоя. И наконец, использование экологического топлива для ОС является наилучшим, однако не может обеспечить энергетические характеристики, требуемые для выведения КА. Помимо этого оно является очень нестабильным и взрывоопасным.

Заключение

Исходя из проведенного анализа видно, что существует множество различных способов улучшения экологических характеристик РН, однако все они требуют проведения дальнейших исследований. Так как почти все из предложенных способов требуют конструктивной доработки ОЧ (за счет внесения в конструкцию дополнительных клапанов, систем стабилизации, датчиков и т.д.), необходимо провести их сравнительный экономический анализ, с целью выявления наиболее экономически выгодного.

Библиографический список

1. Ардашов А.А. Динамика ракеты-носителя «Ангара». - СПб.: ВИКА имени А.Ф. Можайского, 1998. - 134 с.
2. Казаков. Р.Р. Формирование исходных данных о начальных параметрах движения отделяющихся частей РН // Тезисы докладов на НТК ФГУП ЦЭНКИ «Проблемные вопросы открытия и эксплуатации трасс запуска КА, баллистического и метеорологического обеспечения пусков РН», Москва: ЦЭНКИ, 2010.
3. Казаков Р.Р. Метод принятия решений о распределениях оценок показателей качества сложных систем // Труды Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского. Выпуск 627. Часть II / под ред. М.М.Пенькова. - Санкт-Петербург: ВКА имени А.Ф.Можайского, 2010. С. 165-169.
4. Арсеньев В.Н. Методика обоснования требований к характеристикам разброса параметров системы управления летательного аппарата. - Санкт-Петербург: ВИКУ имени А.Ф.Можайского, 2002. - 68 с.
5. О влиянии космической деятельности на экологическую безопасность // Экологическая безопасность России. Материалы Межведомственной комиссии по экологической безопасности (октябрь 1993 г. — июль 1994 г.). — М.: Юридическая литература, 1994. Вып. 1. С. 197–216.
6. Миронов В.И. Эффективность, надежность и испытания систем управления: Учеб.пособие. – М: МО СССР, 1981. – 200 с.
7. Сихарулидзе. Ю. Г. Баллистика летательных аппаратов. – М.: Наука, 1982. - 352 с.