

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева

Институт информационных и телекоммуникационных технологий

Кафедра Электроники, телекоммуникации и космических технологий

Темирханова Сымбат

Анализ исследования методов улучшения экологических характеристик  
отработавших ступени перспективных ракет-носителей

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Специальность 5В074600 – Космическая техника и технологии

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева  
Институт информационных и телекоммуникационных технологий  
Кафедра Электроники, телекоммуникации и космических технологий

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**  
Заведующий кафедрой ЭТиКТ  
\_\_\_\_\_ И. Сырғабаев  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

На тему: «Анализ исследования методов улучшения экологических характеристик отработавших ступени перспективных ракет-носителей»  
по специальности 5В074600 – Космическая техника и технологии

Выполнил: Темирханова С.Т.

Рецензент:

ст. науч. сотр. ИИВТ, PhD

 \_\_\_\_\_ Ахметжанов М.А.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

Научный руководитель:

маг. техн. наук

 \_\_\_\_\_ А. Бапышев

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева

Институт информационных и телекоммуникационных технологий  
Кафедра Электроники, телекоммуникации и космических технологий  
5B074600 – Космическая техника и технологии

**УТВЕРЖДАЮ**

Кандидат технических наук

\_\_\_\_\_ Е. Таштай

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение дипломной работы**

Обучающемуся Темирханова Сымбат Талгатовна

**Тема:** Анализ исследования методов улучшения экологических характеристик отработавших ступени перспективных ракет-носителей

Утверждена приказом ректора университета № 762-б от « 27 » 01 2020 г.

Срок сдачи законченной работы « 02 » 06 2020 г.

**Исходные данные** к дипломной работе: компоненты ракетного топлива ракет носителей.

**Перечень задач** подлежащих к разработке или краткое содержание дипломной работы:

а) Источники загрязнения при запуске перспективных ракет носителей

б) Разновидности компонентов ракетного топлива

в) Экологические параметры существующих РН с учетом воздействия РН на окружающую среду, включая РП

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

**Перечень графического материала:**

1. из презентации

2. И др. презентационно-графические материалы, не более 15 слайдов

**Рекомендуемая основная литература:** из 2 наименований

1. Ж. Жубатов, А. Товасаров, В. Козловский, Д. Алексеева, Ш. Бисариева, А. Позднякова, Н. Гусарова. Экологическая безопасность деятельности космодрома «Байконур» /Под ред. д.т.н., академика МАНЭБ Ж. Жубатова. Изд. - Алматы, 2011. - 555 с.

Шатров, Я.Т. Обеспечение экологической безопасности ракетно-космической деятельности. /Шатров Я.Т. - г. Королев, Моск. обл.: Изд. ЦНИИмаш. - 2009г. - в 3-ех книгах.

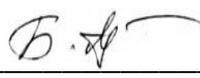
**ГРАФИК**  
подготовки дипломной работы (проекта)

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Источники загрязнения при запуске перспективных ракет носителей	13.03.2020	
Разновидности компонентов ракетного топлива	28.03.2020	
Экологические параметры существующих РН с учетом воздействия РН на окружающую среду, включая РП	15.04.2020	
Существующие способы повышения экологической безопасности на основе обезвреживания выбросов компонентов ракетного топлива	06.05.2020	

**Подписи**

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу (проект) с указанием относящихся к ним разделов работы (проекта)

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Аналитическая часть	А. Бапышев маг. техн. наук	15.04.2020	
Основная часть	А. Бапышев маг. техн. наук	06.05.2020	
Нормоконтролер	А. Бапышев маг. техн. наук	20.05.2020	

Научный руководитель  А. Бапышев

Задание принял к исполнению обучающийся  С. Темирханова

Дата " 25 " 05 2020 г.

## АҢДАТПА

Зымыран-ғарыш қызметі (РҚД) нәтижесінде қоршаған ортаға (ОЖ) әсері артып келеді, бұл ғарыш саласының дамуына, ұшырылатын ұшыру санының өсуіне және зымыран қозғалтқыштарының қуаттылығының артуына байланысты. Зымыран отынының улы компоненттерінің үлкен массасы, жоғары энергиясы, айтарлықтай қоры қазіргі және перспективалы зымыран тасығыштарды атмосфераның ластануының интенсивті көздеріне айналдырады, олар атмосфераның беткі қабатына және атмосфераға зиян келтіреді, адамдарға және қоршаған ортаға, әсіресе ұшыру алаңдарында, аудандарда нақты қауіп төндіреді. ЗТ бөлгіш бөліктерінің құлауы, сондай-ақ авариялар, зымырандарды жою және жою. Қауіп атмосфераға зиянды қоспалардың кейінгі жауын-шашынмен таралуы болып табылады.

Бұл жұмыста перспективалық ұшыру аппараттарының өткізілген сатыларының экологиялық көрсеткіштерін жақсарту әдістерін зерттеу талдауы қарастырылған.

## АННОТАЦИЯ

Влияние на окружающую среду (ОС) в результате ракетно-космической деятельности (РКД) возрастает, это объясняется развитием космической отрасли, увеличением числа пусков ракетносителей (РН), возрастающей мощностью ракетных двигателей. Большая масса, высокая энергетика, значительные запасы токсичных компонентов ракетного топлива делают современные и перспективные ракетносители интенсивными источниками загрязнения атмосферы, которые наносят вред приземной и верхней атмосфере, создают реальную угрозу для людей и окружающей природной среды (ОПС), особенно в районах запуска, в районах падения отделяющихся частей РН, а также при авариях, ликвидации и утилизации ракет. Опасность представляет распространение вредных примесей в атмосфере с последующим их осаждением.

В данной работе рассматриваются анализ исследования методов улучшения экологических характеристик отработавших ступени перспективных ракет-носителей.

## ANNOTATION

The impact on the environment (OS) as a result of rocket and space activities (RKD) is increasing, this is due to the development of the space industry, an increase in the number of launches of launch vehicles (LV), and increasing power of rocket engines. The large mass, high energy, significant reserves of toxic components of rocket fuel make modern and promising rocket carriers intensive sources of air pollution that harm the surface and upper atmosphere, pose a real threat to people and the environment (OPS), especially in launch areas, in areas the fall of separating parts of the LV, as well as in accidents, the elimination and disposal of missiles. The danger is the spread of harmful impurities in the atmosphere with their subsequent precipitation.

This paper discusses an analysis of studies of methods to improve the environmental performance of spent stages of promising launch vehicles.

## СОДЕРЖАНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ.....	6
1	Источники загрязнения при запуске перспективных ракет носителей.....	10
2	Разновидности компонентов ракетного топлива.....	13
2.1	Экологические параметры существующих РН с учетом воздействия РН на окружающую среду.....	14
2.2	Особенности эксплуатации, компоненты ракетного топлива и продукты сгорания РДТТ.....	17
3	Экологические параметры существующих РН с учетом воздействия РН на окружающую среду, включая РП.....	23
4	Существующие способы повышения экологической безопасности на основе обезвреживания выбросов компонентов ракетного топлива.....	25
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	30
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	31

## ВВЕДЕНИЕ

Влияние на окружающую среду (ОС) в результате ракетно-космической деятельности (РКД) возрастает, это объясняется развитием космической отрасли, увеличением числа пусков ракетносителей (РН), возрастающей мощностью ракетных двигателей. Большая масса, высокая энергетика, значительные запасы токсичных компонентов ракетного топлива делают современные и перспективные ракетносители интенсивными источниками загрязнения атмосферы, которые наносят вред приземной и верхней атмосфере, создают реальную угрозу для людей и окружающей природной среды (ОПС), особенно в районах запуска, в районах падения отделяющихся частей РН, а также при авариях, ликвидации и утилизации ракет. Опасность представляет распространение вредных примесей в атмосфере с последующим их осаждением.

Вещества, выбрасываемые в процессе заправки и подготовки к пуску ракетносителей, работы ракетных двигателей различных ступеней являются токсичными для растительного, животного мира и человека. Система управления и регулирования режимов работы двигательных установок (на жидком или твердом топливах) устроена так, что допускает выбросы загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферу в концентрациях много превышающих предельно-допустимые уровни, установленные нормативными документами. В связи с этим возникает необходимость в анализе диффузии и прогнозах распространения примесей в атмосфере в районах расположения космодромов, полигонов и близлежащих населенных пунктов, в том числе, для принятия своевременных решений. Кроме того, для предупреждения и предотвращения чрезвычайных ситуаций различные службы нуждаются в разносторонней информации о масштабах распространения и степени опасности вредных веществ в результате РКД. Таким образом, весьма актуальной становится задача по исследованию распространения ЗВ в атмосфере при работе ракетных двигателей.

В области физики распространения атмосферных примесей работы ведутся по следующим направлениям:

- исследование распространения примесей при различных метеорологических условиях;
- усовершенствование методов расчета и контроля локального, масштабного и дальнего распространения примесей;
- исследования пребывания примесей в атмосфере, их физико-химической трансформации, вымывания осадками и сухого осаждения.

По этим вопросам к настоящему времени достигнуты существенные результаты в Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова, ЦАО, Гидрометцентре России, НПО «Тайфун», Гидрохимическом институте и многих других организациях. Это относится к теоретическим исследованиям распространения примесей в атмосфере, расчетам загрязнения воздуха, использованию научных разработок в практике контроля

за чистотой атмосферы (Берлянд Г.Е., Алоян А.Е., Бызова Н. Л., Turner D.B. и др.). Разработаны методики расчета, выполнены исследования по климатологии диффузионных параметров, изучена повторяемость различных метеоусловий, определяющих рассеивание примесей.

Тем не менее в ракетно-космической деятельности многие вопросы загрязнения воздуха при пусках РН на жидких ракетных двигателях (ЖРД) и ракетных двигателях на твердом топливе (РДТТ) исследованы недостаточно. Остаются актуальными многие вопросы диффузии атмосферных примесей, в частности:

- формализация источников загрязнения атмосферы в виде облака-шлейфа от ракетных двигателей;
- моделирование и анализ загрязнения атмосферы с учетом локальных условий распространения;
- прогнозирование загрязнения атмосферы при фактических метеорологических параметрах.

В связи с этим, в настоящий момент является востребованным совершенствование методов оценки загрязнения атмосферного воздуха при потенциально опасных видах деятельности людей, проведение расчетов с различными исходными данными и метеорологическими условиями, для анализа возможных ситуаций и своевременного выполнения мероприятий, направленных на предотвращение загрязнения окружающей среды выше допустимых показателей.

## 1 ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИ ЗАПУСКЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАКЕТ НОСИТЕЛЕЙ

В общем случае виды воздействия на окружающую среду РКД рассматриваются в разрезе стадий жизненного цикла – научные, проектные, системные исследования, разработка, производство (изготовление), эксплуатация, снятие с эксплуатации (утилизация, ликвидация).

Наиболее значимыми с точки зрения экологического воздействия являются этапы испытаний и эксплуатации вновь разрабатываемых или существующих ракетных комплексов.

Анализ проектной и эксплуатационной документации различных ракетных комплексов, а также опыт проверки этой документации в процессе испытаний и эксплуатации показали, что принятые в конструкторской и эксплуатационной документации технические и организационные мероприятия, направленные на предотвращение загрязнений окружающей природной среды составными частями ракетного комплекса, являются недостаточными для исключения возможности нанесения заметного экологического ущерба, особенно если говорить о выбросах загрязняющих веществ от продуктов сгорания компонентов ракетного топлива, зачастую особо токсичных, из сопла двигателя, в первые 5–10 секунд (формирование первичного облака, его тепловой подъём и перенос).

Образование различных факторов воздействия ракетного комплекса на окружающую среду при испытаниях и эксплуатации возможно в следующих его технических состояниях:

- при подготовке изделия и агрегатов наземного оборудования на технической позиции;
- при подготовке к проведению испытаний на специальной позиции;
- при испытаниях изделия (пуске);
- при утилизации ТПК;
- при падении отделяющихся частей летного изделия в районах падения.

В соответствии с федеральным законом от 10.01.2002 N 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» объектами охраны окружающей среды от загрязнения, истощения, деградации, порчи, уничтожения и иного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности являются:

- земли, недра, почвы;
- поверхностные и подземные воды;
- леса и иная растительность, животные и другие организмы и их генетический фонд;
- атмосферный воздух, озоновый слой атмосферы и околоземное космическое пространство.

В соответствии с ГОСТ Р 52985-2008 «Экологическая безопасность РКТ» от 2008 года можно выделить наиболее экологически значимые факторы воздействия на этапе испытаний ракетных комплексов, как химическое,

механическое, акустическое и тепловое загрязнение разнообразных природных сред.

В таблицах 1, 2, 3 приведены некоторые факторы воздействия на окружающую среду при испытаниях и пусках РН.

Таблица 1 – Факторы воздействия комплекса на ОС на этапе наземной подготовки

№	Объекты ОС	Факторы воздействия	Место расположения	Причина образования
1	Атмосферный воздух	Химическое загрязнение	Стартовая площадка	Выброс продуктов сгорания от работы агрегатов нейтрализации паров и промстоков окислителя и горючего
				Выброс продуктов сгорания от работы технологического оборудования
				Выброс продуктов сгорания от работы задействованных автотранспортных средств
				Испарение КРТ при заправке МБ на СП (при наличии)
2	Почва	Химическое загрязнение	Стартовая площадка	Осаждение КРТ. Осаждение продуктов сгорания от источников загрязнения, задействованных при наземной подготовке

Таблица 2 – Факторы воздействия комплекса на ОС на этапе пуска

№	Объекты ОС	Факторы воздействия	Место расположения	Причина образования
1	Атмосферный воздух	Химическое загрязнение	Стартовая площадка	Выброс продуктов сгорания КРТ при пуске МБ
2	Почва, поверхностные воды	Химическое загрязнение	Стартовая площадка	Осаждение продуктов сгорания КРТ при пуске МБ
3	Атмосферный воздух	Акустическое	Стартовая площадка	Распространение акустических волн
4	Атмосферный воздух	Тепловое	Стартовая площадка	Выброс нагретых до высоких температур (свыше 1000 °С) продуктов сгорания КРТ.

Таблица 3 – Факторы воздействия комплекса на ОС на этапе после пуска

№	Объекты ОС	Факторы воздействия	Место расположения	Причина образования
1	Атмосферный воздух	Химическое загрязнение	Зона падения отделяющихся частей ракетносителя	Выбросы продуктов сгорания в случае пожара
				Испарение КРТ
				Выброс продуктов сгорания двигателей транспортных и технических средств при проведении работ по дефрагментации МБ и эвакуации фрагментов.
2	Почва, поверхностные воды	Химическое загрязнение	Зона падения отделяющихся частей ракетносителя	Пролив балластных жидкостей и остатков КРТ при падении МБ
3	Почва	Механическое	Зона падения отделяющихся частей ракетносителя	Падение МБ
				Работы по дефрагментации и эвакуации МБ с места падения

В связи с тем, что испытания ракетных комплексов осуществляется на специально отведенных для этого территориях (космодромах, полигонах и т.п.), основными источниками загрязнения окружающей среды являются агрегаты и изделия стартового, технического, заправочного комплексов, а также в большей степени само лётное изделие (в большей степени двигательная установка) и его отделяющиеся части (ступеней, головного обтекателя и т.п.).

## 2 РАЗНОВИДНОСТИ КОМПОНЕНТОВ РАКЕТНОГО ТОПЛИВА

Как следует из приведённого выше анализа, наиболее значимым фактором экологического воздействия на атмосферный воздух является выброс многокомпонентных примесей при работе двигательной установки ракетносителя.

По сравнению с двигателями других типов, ракетные двигатели имеют свои особенности (в части токсичности), вызванные специфическими условиями их эксплуатации, применяемыми компонентами топливами и массой расхода, более высокими температурами в реакционной зоне, эффектами догорания газов в атмосфере.

Компоненты ракетного топлива (в частности, для жидкостного двигателя) являются сильнодействующими токсичными веществами первого и второго классов опасности: несимметричный диметилгидразин, азотная кислота, амины, тетраоксид азота, гидразин, монометилгидразин и т.п.

Выделяют два типа ракетных двигателей: жидкостные ракетные двигатели (ЖРД) и ракетные двигатели на твердом топливе (РДТТ).

### 2.1 ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ, КОМПОНЕНТЫ РАКЕТНОГО ТОПЛИВА И ПРОДУКТЫ СГОРАНИЯ ЖРД

Окислитель и горючее – это два основных компонента жидкого топлива. В качестве окислителя используются кислород ( $O_2$ ), азотная кислота ( $HNO_3$ ) и четырехокись азота ( $N_2O_4$ ). В качестве горючего используются керосин, этиловый спирт ( $C_2H_5OH$ ), несимметричный диметилгидразин (НДМГ,  $H_2N-N(CH_3)_2$ ) и водород ( $H_2$ ).

С целью повышения энергетических характеристик ЖРД компоненты топлива подаются в камеру сгорания при соотношении, соответствующем коэффициенту избытка окислителя

$$\alpha_{дв} < 1 \quad (1)$$

здесь  $\alpha_{дв} = k_m / k_{см}$ , где  $k_m$  и  $k_{см}$  – массовое и стехиометрическое соотношения секундных расходов компонентов топлива ( $k_m = m_o / m_f$ );  $m_o$ ,  $m_f$  – секундные массовые расходы окислителя и горючего.

Более того, способы защиты камер сгорания от перегрева включают в себя способы создания около огневой стенки слоя продуктов сгорания с пониженным уровнем температуры путем подачи избыточного горючего. Многие современные конструкции камер сгорания имеют пояса завесы. Через такие пояса в пристеночный слой поступает дополнительное горючее, которое равномерно по периметру камеры превращается вначале в жидкую пленку, а затем в газовый слой испарившегося горючего. Значительно обогащенный горючим пристеночный слой продуктов сгорания сохраняется до выходного сечения сопла. В РДТТ из-за необходимости формирования

у заряда требуемых механических свойств соотношение компонентов топлива соответствует также коэффициенту избытка окислительных элементов меньше единицы. Это вызывает догорание продуктов сгорания выхлопного факела при турбулентном перемешивании их с воздухом. Достигнутая при этом температура в отдельных случаях достаточно высокая для интенсивного образования из смечи азота и кислорода воздуха окислов азота  $NO_x$ . Расчеты показали, что не содержащее азот топлива  $O_{2ж}+H_{2ж}$  и  $O_{2ж}+$ керосин образуют при догорании соответственно в 1,7 и 1,4 раза больше оксида азота  $NO$ , чем топливо азотный тетраоксид + НДМГ. Это можно объяснить высоким уровнем температур в зоне догорания  $CO$  и  $H_2$ , содержание которых в продуктах сгорания первых двух топлив существенно больше, чем при использовании азотсодержащих окислителя и горючего. Полученный результат определяется и принятыми в расчетах значениями коэффициента избытка окислителя  $\alpha_{дв}$  для приведенных топлив, соответственно 0,75; 0,76 и 0,87 в двигателях РД-0120  $O_{2ж}+H_{2ж}$ , РД-170  $O_{2ж}$  керосин и азотный тетраоксид + НДМГ. Отсюда вытекает возможность влияния на образование  $NO_x$  изменением коэффициента избытка окислителя  $\alpha_{дв}$ .

На малых высотах работы ДУ происходит большой выброс оксида азота при догорании топлива. При увеличении высоты полета температура окружающего воздуха и его плотность становится меньше и выброс окислов азота ( $NO$ ) уменьшается, а на высотах более 15 км образование  $NO$  при догорании практически прекращается. Сам процесс догорания продолжается до высот  $\sim 50$  км.

При анализе образования оксида азота в выхлопном факеле необходимо учитывать наличие в техническом жидком кислороде до 0,5...0,8 % по массе жидкого азота.

Таким образом, в выбросах ЖРД на срезе сопла в зависимости от используемого топлива содержатся пары воды, диоксид углерода  $CO_2$ , оксид углерода  $CO$ , водород  $H$ , окислы азота  $NO_x$ .

При запуске мощных ракет-носителей с увеличением высоты полета растут вызванные пролетом ракеты размеры области возмущений и их интенсивность. На малых высотах скорости РН небольшие, а масса выбрасываемых двигателями продуктов сгорания огромна. Так, расходы компонентов топлив в момент старта у РН «Протон» составляют около 3800 кг/с, «Спейс-Шаттл» – более 10000 кг/с и РН «Сатурн-5» – на уровне 13000 кг/с. Такие расходы вызывают скопление в районе старта большого количества продуктов сгорания, загрязнение облаков, выпадение кислотных дождей и изменение погодных условий на территории 100–200 км<sup>2</sup>.

Самым экологически чистым ракетным топливом является водород в виде горючего и кислород в виде окислителя, так как эти вещества абсолютно нетоксичны и в процессе горения в камере сгорания не дают никаких вредных продуктов сгорания. Но при выборе топлива учитываются не только экологические требования, но и конструктивные особенности ракет

и прочих летательных аппаратов. Для конструкторов важна плотность топлива и температура его кипения и плавления. Поэтому водород в качестве топлива не идеален, в связи с тем, что он взрывоопасен, а из-за малой плотности занимает большой объем.

Самое конструктивно удобное сочетание компонентов ракетного топлива (КРТ) топлива это НДМГ и азотная кислота. В двигательных установках ракет-носителей, запускаемых с космодрома «Плесецк», используется двухкомпонентное жидкое ракетное топливо, одним из компонентов жидкого ракетного топлива является несимметричный диметилгидразин, который является одним из самых токсичных компонентов ракетного топлива и иначе называется «гептил». «Гептил» способен накапливаться в грибах, ягодах, живых организмах и распространяется по пищевой цепочке, достигая человека. Концентрация паров гептила, превышающая в 50 раз допустимую норму ощущается в воздухе по запаху. При вдыхании паров возможен кашель, боли в грудной клетке, хрипота и учащение дыхания. При этом при вдыхании одноразово больших концентраций может наступить потеря сознания. Тетраоксид азота также является довольно токсичным. Сочетание этих веществ вызывает опасность и определенные трудности при заправке топлива и эксплуатации РН.

Токсичность компонентов ракетного топлива означает их способность оказывать вредное воздействие на человека, флору и фауну. Показателем токсичности может служить предельно допустимая концентрация (ПДК) КРТ в воздухе рабочей зоны [62, 80, 82]. По степени токсичности вещества, в том числе и КРТ, делятся на четыре класса:

- 1-й класс – чрезвычайно опасные ПДК < 0,0001 мг/л (г/м<sup>3</sup>);
- 2-й класс – высоко опасные ПДК = (0,0001-0,001) мг/л (г/м<sup>3</sup>);
- 3-й класс – умеренно опасные ПДК = (0,0011-0,01 ) мг/л (г/м<sup>3</sup>);
- 4-й класс – малоопасные ПДК > 0,01 мг/л (г/м).

В таблице 4 приведены некоторые свойства компонентов ракетного топлива.

Таблица 4 – Физико-химические свойства КРТ

Название КРТ	Химическая формула	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	T кипения, 0С	T замерзания, 0С	ПДК, г/м <sup>3</sup> (мг/л)
Окислители					
Кислород жидкий (продукт 099)	O <sub>2ж</sub>	1140	-183	-218	-
АК-27И (меланж)	N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> +HNO <sub>3</sub>	1560	60	-54	0,005
Азотный тетраоксид (амил)	N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1450	21	-11	0,005
Перекись водорода (продукт 030)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1440	150	-0,5	0,001

Горючее					
Водород жидкий (продукт 100)	$H_{2ж}$	71	-253	-259	-
Керосин РГ-1	$C_{10}H_{20}$	1450	140	-80	0,3
Несимметричный диметилгидразин (гептил)	$(CH_3)_2-N_2H_2$	1450	63	-52	0,0001
Гидразин (амидол)	$N_2H_2$	1008	113	2	0,0001

Токсичность КРТ потребовала создания систем контроля утечки паров ЗВ в атмосферный воздух. Одновременно возникла необходимость использования индивидуальных средств защиты, а также применения систем сбора и нейтрализации технологических утечек и аварийных проливов КРТ.

## 2.2 ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ, КОМПОНЕНТЫ РАКЕТНОГО ТОПЛИВА И ПРОДУКТЫ СГОРАНИЯ РДТТ

Все заряды твёрдого топлива по внешнему виду представляют собой плотные твёрдые тела в основном тёмных цветов. Ракетный порох, главным образом имеет тёмно-коричневый цвет и внешне похож на роговидное вещество. Заряды могут содержать добавки в виде сажи, при этом цвет их бывает чёрным. Смесевые топлива бывают как чёрного, так и чёрно-серого цвета в зависимости от горючего и добавок, и обычно схожи с завулканизированной резиной, но менее эластичны и более хрупки.

Топлива для РДТТ достаточно инертны как по воздействию на организм человека, так и в отношении загрязнения различных конструкционных материалов.

В обычных условиях они не выделяют вредных веществ при хранении. Ракетный порох из-за летучих свойств растворителя (нитроглицерина) может вызывать кратковременные головные боли.

Ракетный порох представляют собой сложную многокомпонентную систему, в которой каждому веществу отведена своя роль с целью получения заданных свойств того или иного вида пороха. Основным компонентом пороха являются нитраты целлюлозы, которые при сгорании выделяют наибольшее количество тепловой энергии. Они же определяют и физико-химические свойства пороха.

Рассмотрим некоторые составные части пороха.

Нитраты целлюлозы, по-другому нитроклетчатка, появляются при обработке целлюлозы смесью азотной и серной кислот. Такая обработка называется нитрацией. Исходный материал целлюлоза (клетчатка) – широко распространённое в природе вещество, из которого почти целиком состоят лён, пенька, хлопок и др.

Нитраты целлюлозы представляют собой рыхлую массу. Они легко воспламеняются даже от слабой искры. Горение происходит за счёт кислорода, содержащегося в нитрогруппах, и подвода кислорода извне не требуется. Однако использование самой нитроцеллюлозы в качестве компонента ракетного топлива исключено, так как из неё невозможно изготовить заряд, горящий по строго определённым законам. Даже после сильного прессования она имеет множество пор. Горение её происходит не только снаружи, но и внутри, т. к. горючий газ проникает по порам внутрь. Вследствие этого может произойти взрыв, способный разрушить двигатель. Для предотвращения этого производят пластификацию нитроцеллюлозы, т. е. приготавливают из неё твёрдый раствор однородного состава, без пор.

Растворители-пластификаторы нитроцеллюлозы – это нитроглицерин, нитроглицерин и некоторые другие вещества. Они являются вторым основным компонентом порохов как по массе, так и по запасу энергии и не удаляются из раствора в процессе производства, а практически полностью остаются в составе пороха, за что их часто называют труднолетучими растворителями.

Нитроглицерин – вещество, образующееся при нитрации трёхатомного спирта глицерина (смесью азотной и серной кислот); представляет собой бесцветную маслообразную жидкость.

Нитроглицерин – мощное взрывчатое вещество. Он легко взрывается при ударе или трении. Горение его происходит за счёт кислорода, содержащегося в нитрогруппах. Кислород в их молекулах имеется в избытке. Поэтому он участвует в дополнительном окислении нитроцеллюлозы, что приводит к общему увеличению энергоёмкости твёрдого топлива. С увеличением содержания нитроглицерина в порохах растут не только их энергетические показатели, но и взрывоопасность и чувствительность к удару. Ракетные пороха с большим содержанием нитроглицерина обеспечивают высокую удельную тягу.

С целью облегчения технологии производства, увеличения сроков и допустимой температуры хранения зарядов нитроцеллюлозу пластифицируют, применяя для этого и другие растворители.

Нитроглицерин как взрывчатое вещество, менее чувствительно к механическим воздействиям. Его получают нитрацией этиленгликоля. Запас кислорода в его молекуле меньше, чем в молекуле нитроглицерина, поэтому применение в качестве растворителя ухудшает энергетические показатели порохов.

Кроме нитроглицерина и нитроглицерина иногда применяется такой растворитель нитроцеллюлозы, как нитрогуанидин.

Дополнительные пластификаторы и вещества, регулирующие энергетические свойства топлива, хорошо совмещаются с основными растворителями. Они не содержат совсем, или содержат очень мало активного кислорода и потому вводятся в состав порохов в небольших

количествах, чтобы не снижать их энергетические характеристики. К ним относятся такие вещества, как динитролуол, дибутилфталат, диэтилфталат.

Стабилизаторы вводятся в состав порохов для повышения их химической стойкости. При хранении порохов происходит разложение нитроцеллюлозы с образованием оксидов азота, которые ускоряют её дальнейшее разложение, делая её взрывоопасной. Они замедляют разложение нитроцеллюлозы, посредством соединения с выделяющимися оксидами азота, связывают их и превращают в химически малоактивные вещества.

Вещества, улучшающие горение порохов, обеспечивают ускорение, замедление или стабилизацию процесса сгорания в камере твёрдотопливных ракетных двигателей. К ним относятся большое число солей или оксидов различных металлов: олова (*Sn*), марганца (*Mn*), цинка (*Zn*), хрома (*Cr*), свинца (*Pb*), титана (*Ti*), калия (*K*), бария (*Ba*) и т.д.

Вещества, облегчающие процесс изготовления пороха, вводятся в наиболее ответственных операциях для снижения трения и нагрузок на машины. Они играют роль смазок как внутри топливной массы, так и между массой и инструментом. Для этого применяются мел, уменьшающий внутреннее трение. Вазелин, трансформаторное масло, графит и другие вещества, например, снижают давление при прессовании. Вводятся они в малом количестве.

Производство ракетных порохов — это сложная технологическая схема с применением высоких температур и давления. В задачу производства входит изготовление твёрдых однородных пороховых зарядов, отвечающих ряду жёстких требований, из большого числа веществ, разнородных по химическим и физическим свойствам, а также агрегатному состоянию [37].

Смесевые ракетные топлива. Смесевые топлива по сравнению с порохами, по составу значительно проще. Они включают в себя два-три, редко четыре компонента. Рассмотрим некоторые из них.

В качестве окислителей смесевых топлив используются, как правило, соли неорганических кислот — азотной и хлорной. Их особенность — это большой процент кислорода в молекуле. Все они по массе примерно наполовину состоят из кислорода. В обычных условиях они обладают химической стойкостью, но при сильном нагревании способны распадаться с выделением свободного кислорода.

Помимо кислорода, все твёрдые окислители в своём составе имеют атомы химических элементов, способные к окислению. Разложение окислителей связывает часть кислорода с такими элементами и свободного кислорода выделяется значительно меньше, чем имеется в молекуле.

Самым распространённым окислителем твёрдых топлив является перхлорат аммония  $NH_4ClO_4$ . Эта соль представляет собой белый (бесцветный) кристаллический порошок, и разлагается она при нагревании выше  $150^{\circ}C$ . На воздухе незначительно увлажняется. Чувствителен к удару и трению, особенно при наличии органических примесей. Может гореть без

горючего и взрываться. При горении не выделяет твёрдых веществ, но в его продуктах сгорания содержится агрессивный и довольно ядовитый газ - хлористый водород ( $HCl$ ), который при наличии влаги образует с ней соляную кислоту.

Другим окислителем является перхлорат калия ( $KClO_4$ ). Эта соль разлагается при температуре выше  $440^{\circ}C$ , на воздухе не увлажняется (негигроскопична), не горит и не взрывается. Весь кислород, содержащийся в её составе, является активным. При сгорании она выделяет твёрдое вещество - хлорид калия, который создаёт плотное дымовое облако. Наличие хлорида калия в продуктах сгорания резко ухудшает свойства ракетных топлив, т.е., условия перехода тепловой энергии в кинетическую в сопле ракетного двигателя. Ещё один широко используемый окислитель - нитрат аммония (аммиачная селитра –  $NH_4NO_3$ ), используется также как азотное удобрение. Представляет собой бесцветный (белый) кристаллический порошок. Разлагается при температуре  $243^{\circ}C$ . Способен гореть и взрываться. При сгорании выделяется большое количество только газообразных продуктов. Смеси с органическими веществами способны самовозгораться, поэтому хранение ракетных топлив на его основе представляет серьёзную проблему. Имеет ядовитые свойства.

Дополнительно в качестве возможных окислителей твёрдотопливных ракетных двигателей могут использоваться, например, перхлораты лития ( $LiClO_4$ ), нитрозила ( $NOClO_4$ ) и нитрония ( $NO_2ClO_4$ ), динитрат гидразина ( $N_2H_4 \times 2NO_3$ ) и др.

Горюче-связующие вещества смесевых топлив — это высокомолекулярные органические соединения, или полимеры. Полимерами называются такие соединения, молекулы которых состоят из очень большого числа элементарных звеньев одинаковой структуры. Элементарные звенья соединяются между собой в длинные цепи линейного или разветвлённого строения. Свойства полимера зависят от химического строения элементарных звеньев, их количества и взаимного расположения.

Многие твёрдые полимеры получают из жидких веществ - мономеров, молекулы которых состоят из сравнительно небольшого числа атомов. Мономеры способны самопроизвольно соединяться в длинные цепи – полимеры. Этот процесс называется полимеризацией.

Для ускорения полимеризации, или отверждения, применяются некоторые специальные вещества, называемые инициаторами, или отвердителями.

Многие высокомолекулярные соединения способны хорошо смешиваться и склеиваться с порошками, а затем превращаться в твёрдую монолитную массу после полимеризации. При нагревании некоторые полимеры размягчаются, становятся более вязкими, и в таком виде могут смешиваться с наполнителями, прочно удерживая их. При этом их можно заливать в формы и получать топливные заряды заданных размеров и форм.

Для применения в качестве горюче-связующих веществ удовлетворительными свойствами обладают синтетические соединения типа каучуков, смол и пластмасс, а также тяжёлые нефтепродукты – асфальт и битум.

Состав и свойства нефтепродуктов колеблются в очень широких пределах, а нужные механические свойства сохраняются только в небольшом интервале температур. Поэтому чаще употребляются синтетические вещества, имеющие более постоянный состав и лучшие механические свойства. Обычно применяют каучуки – полиуретановый, бутадиеновый и полисульфидный. Распространено применение смол – полиэфирной, эпоксидной и карбамидной, а также некоторых пластмасс, в состав которых входят атомы азота, кислорода, серы или хлора.

Основные недостатки полимерных смол и пластмасс как горюче-связующих веществ – малая эластичность и повышенная хрупкость при низких температурах.

От этих недостатков в основном свободны синтетические каучуки. Порошкообразные металлы могут вводиться в состав смесевых топлив в качестве дополнительного горючего компонента. Для этого пригодны металлические бериллий, литий, алюминий, магний, а также некоторые их соединения. В результате введения указанных металлов происходит повышение запаса энергии топлива, т. е. Увеличивается удельная тяга двигателей. Кроме того, металлические добавки повышают удельный вес топлива, что улучшает характеристики двигателя и ракеты в целом. Чем больше объем металлосодержащего горючего, тем выше температура продуктов их сгорания.

Большинство современных смесевых топлив содержат в качестве компонентов металлы.

Наиболее эффективным металлическим горючим является бериллий, однако перспективы применения бериллия очень ограничены, потому что его запасы незначительны, а продукты сгорания весьма ядовиты. Следующий по эффективности металл – литий. Его применение тормозится очень низкой температурой плавления ( $+186^{\circ}\text{C}$ ) и самовоспламенением на воздухе в расплавленном состоянии. Самым распространённым и наиболее дешёвым металлическим горючим является алюминий. Применение тонко измельчённого порошка алюминия в смесевых топливах не только повышает удельную тягу двигателей, но и улучшает надёжность их запуска и увеличивает стабильность горения топлива. Магний применяется редко, так как он в топливах даёт малую удельную тягу.

Чистые металлы в соединении с водородом (гидриды) могут применяться в качестве дополнительных горючих веществ.

Добавки и катализаторы применяются в смесевых топливах в небольших количествах для улучшения процесса горения (сажа, соли некоторых металлов), придания топливу пластичных свойств (растительные, минеральные и синтетические масла), улучшения стойкости при хранении и

стабильности состава (диэтилфталат, этилцентралит), облегчения технологии производства.

Технология изготовления зарядов из смесевых топлив включает смешение компонентов топлива, отливку и отверждение. В общем процесс изготовления смесевых топлив проще, чем порохов, однако при изготовлении крупногабаритных зарядов приходится преодолевать большие технологические трудности.

Наличие в твердом ракетном топливе различных наполнителей, приведенных выше, приводит к выделению вредных веществ при работе РДТТ.

Данные по выбросам ЗВ при сжигании РДТТ приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Выбросы ЗВ при сопловом сжигании РДТТ

№	Наименование параметра	Общая масса ГВС, тонн		
		48,3	29,8	12,4
1	Состав основных продуктов сгорания, т			
	водяные пары	3,9	0,98	0,73
	хлористый водород	10	1,36	0,2
	оксид алюминия	12,9	11,88	5,4
2	Параметры твёрдой фазы (окси алюминия)			
	фракционный состав до 30 мкм, %		20	
	фракционный состав свыше 30 мкм, %		80	
	плотность частиц, г/см <sup>3</sup>		4,1	
3	Параметры источника выброса			
	продолжительность выброса ГВС, с	80	80	80
	диаметр устья источника, м	2	1,8	1,3
	температура на выходе, °К	2303	2303	2303
	температура на выходе, °К	220	2200	2200

### 3 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СУЩЕСТВУЮЩИХ РН С УЧЕТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ РН НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ, ВКЛЮЧАЯ РП

Экологические параметры существующих и перспективных РН определяются в основном составом компонент ракетного топлива. В существующих и перспективных образцах РН, которые эксплуатируются или будут эксплуатироваться на космодроме Байконур применяют двухкомпонентные ЖРД, состоящие из окислителя и горючего. Окислитель и горючее, вступающие при контакте в жидком состоянии в химическую реакцию и вызывающие воспламенение смеси, образуют самовоспламеняющиеся топлива.

При эколого-гигиенической оценке степени загрязнения окружающей среды компонентами ракетного топлива и опасности для здоровья населения, проживающего на территории районов падения отделяющихся частей ракет-носителей, следует учитывать возможность:

- стабильного сохранения КРТ в объектах окружающей среды;
- поступления КРТ в организм с вдыхаемым воздухом, водой, через кожные покровы, с продуктами питания растительного (овощи, фрукты, злаковые) и животного (мясо, субпродукты) происхождения, произведенными в районах падения ОЧ РН.

Несимметричный диметилгидразин (НДМГ) применяется в качестве жидкого горючего ракетного топлива. Это бесцветная жидкость с резким неприятным запахом (тухлой селедки). Легко окисляется кислородом воздуха с образованием комплекса продуктов окисления, хорошо растворяется в воде. Потенциальная опасность НДМГ при попадании в объекты окружающей среды определяется высокой летучестью, неограниченной растворимостью в воде, способностью к миграции, накоплению, высокой стабильностью в глубоких слоях почвы и растениях. НДМГ относится к I классу опасности. Опасен при любых путях поступления в организм - через желудочно-кишечный тракт, органы дыхания, кожу и слизистые. Клиническая картина острого отравления НДМГ проявляется возбуждением, расстройством дыхания, тоническими и клоническими судорогами, функциональными сдвигами со стороны центральной нервной системы, поражением печени, почек, изменением состава периферической крови. При поступлении в организм НДМГ быстро всасывается, равномерно распределяется по органам и тканям. Выделение НДМГ происходит через почки и легкие. Возможно выделение его с молоком.

Азотный тетраоксид (АТ) - легколетучая жидкость желтого или красного цвета с резким специфическим, раздражающим запахом. Хорошо растворим в воде. Относится к 1 классу опасности. Острое ингаляционное отравление АТ протекает при явлениях резкого раздражения верхних дыхательных путей, острого отека легких, нарушении функции дыхания и сердечно-сосудистой системы, водно-солевого обмена, образования метгемоглобина в крови, гемолиза эритроцитов. Порог раздражающего действия на слизистые оболочки верхних дыхательных путей равен 25 мг/м. Концентрации на уровне 200-300

мг/м опасны для жизни человека; 400-500 мг/м - вызывают быструю смерть. Человек ощущает запах и раздражение во рту и зеве при 8 мг/м; раздражение слизистых глаз и носа при 14 мг/м. Порог обонятельного ощущения - при концентрации 0,2 мг/м; явное ощущение запаха - 1 мг/м. Эколого-гигиеническая значимость АГ в воде, почве и растениях определяется нитратами и нитритами; в атмосферном воздухе - двуокисью и окисью азота, парами азотистой и азотной кислот.

Горючее Т-1 представляет собой бесцветную или слегка желтоватую жидкость с запахом нефтепродуктов, получаемую путем прямой перегонки нефти малосернистых сортов. Горючее Т-1 не самовоспламеняется с кислородом и другими окислителями, кроме фтора. Оно не агрессивно к конструкционным материалам. Токсикологическое действие горючего выражено слабо, что характерно для нефтепродуктов вообще. Но при большой концентрации паров в воздухе могут ощущаться головная боль, тошнота, развиваться расстройства нервной системы, сердечной деятельности. Предельно допустимая концентрация паров в воздухе равно 0,3 мг/л.

Горючее РГ -1 не отличается от продукта Т-1 по внешним признакам, но имеет существенно иной групповой состав. Горючее пожароопасное в условиях хранения при повышенных температурах. Эксплуатационные и токсикологические характеристики горючего РГ -1 аналогичны характеристикам Т-1. Экологические параметры КРТ для существующих и перспективных РН в таблице 6.

Таблица 6 - Экологические параметры компонентов ракетного топлива.

Компоненты топлива	$T_{\text{кип}}$ , К	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\mu$ , мПа*с	$C_p$ , кДж/(кг*К)	$\lambda$ , Вт/(м*К)	Скрытая теплота парообразования, кДж/моль
Горючее						
H <sub>2</sub>	20,4	71	0,0087	9,75	0,066	0,92
NH <sub>3</sub>	239,8	680	0,255	4,4	0,5	23,4
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	351,7	785	1,42	2,6	0,167	38,5
N <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	-	1011	0,97	3,1	0,209	42,7
НДМГ	354	808	0,5	2,7	0,209	35,2
Керосин	-	800	1,63	2,1	0,156	-
Окислители						
O <sub>2</sub>	90,2	1142	0,189	1,7	0,021	6,7
O <sub>3</sub>	162,6	1471	1,55	0,8	-	10,9
HNO <sub>3</sub>	359	1520	2	1,75	0,274	30,4
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	294,2	1450	0,44	1,5	-	38,1
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	423,7	1448	1,3	2,4	0,628	54,4
ClF <sub>3</sub>	284,9	1770	3,9	1,25	-	35,9

Рассмотренные экологические параметры существующих и перспективных РН с ЖРД оказывают основное воздействие на окружающую среду, включая РП.

#### 4 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;  
– вентиляция 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 России 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 глубоких 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.

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 7.

Таблица 7 - Анализ способов улучшения экологических характеристик РН

№	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**

В рамках данной работы был рассмотрен анализ исследования методов улучшения экологических характеристик отработавших ступени перспективных ракет-носителей

Проведен анализ экологических параметров, существующих и перспективных РН с ЖРД с учетом воздействия РН на окружающую среду.

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.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

- 1 IADCspacedebrismitigationguidelines - [www.iadc-online.org](http://www.iadc-online.org) (датаобращения 25.05.2018)
- 2 Space Debris Mitigation Guidelines of the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space. United Nations Office for Outer Space Affairs/ Vienna, 2010 - [www.unoosa.org](http://www.unoosa.org) (датаобращения 30.04.2018)
- 3 Шатров, Я.Т. Обеспечение экологической безопасности ракетно-космической деятельности. /Шатров Я.Т. - г. Королев, Моск.обл.: Изд. ЦНИИмаш. - 2009г. - в 3-ех книгах.
- 4 Патент № RU2290352С2Способ нейтрализации горючего и окислителя в отделяющихся ступенях ракеты-носителя и устройство для его осуществления. //http://www.findpatent.ru/patent/229/2290352.html (дата обращения 15.06.2018)
- 5 Б. А. Титов, С. А. Рычков. Уменьшение размеров районов падения отработавших блоков ракеты-носителя типа “Союз” при преднамеренном членении их конструкции. Вестник СГАУ. №1, 2007.
- 6 Патент №0002572014 от 27.12.2015. Способ уменьшения районов падения отработанных ракетных блоков первой ступени ракетносителя при их параллельном соединении.
- 7 Ю. Л. Кузнецов, Д. С. Украинцев. Анализ влияния схемы полёта ступени с ракетно-динамической системой спасения на энергетические характеристики двухступенчатой ракеты-носителя среднего класса. / Вестник СГАУ Т. 15, № 1, 2016 г.
- 8 Falcon 9 attemptsoceanplatformlanding [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.spacex.com/news/2014/12/16/x-marks-spot-falcon-9-attempts-ocean-platform-landing>, свободный (дата обращения: 30.04.2017).
- 9 Trushlyakov V., Zharikov L., Lempert D. Development of solid fuel gas generating compositions to ensure non explosiveness of spent orbital stages of liquid rocket of space launch vehicles//Eurasian Chemico-Technological Journal. Vol19, No1 (2017). P.63-70,<http://ect-journal.kz/index.php/ect01/article/view/504>.
- 10 Экологические проблемы и риски воздействий ракетно-космической техники на окружающую природную среду. Справочное пособие, под общей редакцией Адушкина В.В., Козлова С.И., Петрова А.В. М: Изд. «Анкил», 2000, с.640.
- 11 Теория и практика эксплуатации объектов космической инфраструктуры/ Спб.; БХВ-Петербург, - 2006.– 400 с.: ил.
- 12 Суйменбаев, Б.Т. О создании многоуровневой системы экологического мониторинга и прогнозирования состояния и устойчивости объектов окружающей среды космодрома «Байконур» и районов падения ОЧРН // Вестник АН РК. – Алматы, 2005. - №6.
- 13 Трушляков В.И., Куденцов В.Ю., Шатров Я.Т., Агапов И.В. Способ спуска отделяющейся части ступени ракеты космического назначения и устройство для его осуществления/ Пат. 2414391 Рос. Федерация, МПК

В64D1/26, В64С15/14; ОмГТУ. - № 2009123768/11; заявл. 22.06.09; опубл. 20.03.11, Бюл. № 8.

14 Авдошкин В. В. Проблемные вопросы использования трасс запусков космических аппаратов и районов падения отделяющихся частей космического назначения: монография / В.В. Авдошкин, Н.Ф. Аверкиев, А.А. Ардашов и др.; под ред. А.С. Фадеева, Н.Ф. Аверкиева. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, - 2016. – 372 с.

15 Баранов Д.А., Макаров Ю.Н., Трушляков В.И., Шатров Я.Т. Проект создания автономной бортовой системы увода отработавших ступеней ракет-носителей в заданные области/ Космонавтика и ракетостроение №50 (84), - 2015. - С. 76 – 82

16 Баранов Д.А., Лемперт Д.Б., Трушляков В.И., Шатров Я.Т. Разработка бортовой системы испарения невырабатываемых остатков жидкого топлива в баках отделяющейся части ступени РН// Космонавтика и ракетостроение -2017 - 6(99) - с. 93 - 103

17 Я.Т. Шатров, Д.А. Баранов, В.И. Трушляков, В.Ю. Куденцов, Д.В. Ситников, Д.Б. Лемперт. Технологии снижения техногенного воздействия пусков ракет космического назначения на окружающую среду//Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета - Т. 15. - № 1. - 2016 г. - С. 139 – 150// DOI: 10.18287/2412-7329-2016-15-1-139-150.

18 Краснов В.М., Суйменбаев Б.Т. Sprayed rocket fuel in the atmosphere, dimensions of the cloud and its flight trajectory Geophysical Research Abstracts, V3, 2001.

19 Суйменбаев Б.Т., Краснов В.М. Некоторые аспекты последствий аварий ракеты-носителя “Протон” над территорией Казахстана //Экологические системы и приборы, №2, 2001.

20 Трушляков В.И., Куденцов В.Ю., Ситников Д.В. Способ спуска отделяющейся части ступени ракеты космического назначения и устройство для его реализации/ Пат. № 2581894 Рос. Федерация, МПК В64G 1/26, В64С 15/14; ОмГТУ. Заявка №2015104530; заявл. 10.02.15 г. Опубл. 20.04.2016 Бюл. №11.

21 Экологическая безопасность эксплуатации ракетно-космических комплексов.- Алматы: Изд-во «Гига трейд». - 2009. - 240 с

22 В.И.Трушляков, В.В.Шалай, Я.Т.Шатров «Снижение техногенного воздействия ракетных средств выведения на жидких токсичных компонентах ракетного топлива на окружающую среду». - Омск: Изд. ОмГТУ, 2004. – С. 220.

23 Соглашение между Правительством Республики Казахстан и Правительством Российской Федерации по экологии и природопользованию на территории комплекса "Байконур" в условиях его аренды Российской Федерацией от 2 июня 2005 года

24 Ж. Жубатов, А. Товасаров, В. Козловский, Д. Алексеева, Ш. Бисариева, А. Позднякова, Н. Гусарова. Экологическая безопасность деятельности космодрома «Байконур» /Под ред. д.т.н., академика МАНЭБ Ж. Жубатова. Изд. - Алматы, 2011. - 555 с.

25 TheNewShepardsystem [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.blueorigin.com/technology>, свободный (дата обращения: 30.04.2017).

26 Космические корабли многоразового использования <http://timemislead.com/kosmonavtika/kosmicheskie-korabli-mnogorazovogo-ispolzovaniya> (дата обращения 27.07.18)

27 Ракета-носитель «Россиянка» - <http://makeyev.ru/roospace/rossiyanka/>, свободный (дата обращения: 30.04.2017).

28 Многоразовый ускоритель «Байкал». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pro-molniya.ru/uskoritel-baikal>, свободный (дата обращения: 30.04.2017).

29. Многоразовая ракетно-космическая система сверхлёгкого класса «Демонстратор» - [https://fpi.gov.ru/press/news/opredelen\\_oblik\\_perspektivnoy\\_mnogorazovoy\\_raketno\\_kosmicheskoy\\_sistemi](https://fpi.gov.ru/press/news/opredelen_oblik_perspektivnoy_mnogorazovoy_raketno_kosmicheskoy_sistemi) (последнее обращение 29.07.10).

30 Суйменбаев Б.Т., Трушляков В.И., Ермолдина Г.Т., Суйменбаева Ж.Б., Батышев А.М. Разработка бизнес-процесса информационно-аналитических систем космодрома Байконур и проектирования ракеты-носителя для повышения экологической безопасности в районах падения отработавших ступеней. //Материалы III Международной научной конференции «Информатика и прикладная математика», посвященная 80-летию юбилею профессора Бияшева Р.Г. и 70-летию профессора Айдарханова М.Б., 26-29 сентября 2019 года, Алматы – С.355-366.