

КОНЦЕПЦИЯ СНИЖЕНИЯ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПУСКОВ ПЕРСПЕКТИВНОЙ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ «ИРТЫШ» В РАЙОНАХ ПАДЕНИЯ КОСМОДРОМА БАЙКОНУР

Б. Т. Суйменбаев¹, В. И. Трушляков², Г. Т. Ермолдина¹,
Ж. Б. Суйменбаева¹, А. М. Бапышев¹

¹Институт информационных и вычислительных технологий,
Республика Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Пушкина, 125

²Омский государственный технический университет,
Россия, 644050, г. Омск, пр. Мира, 11

Рассмотрены научно-методические подходы к минимизации техногенного воздействия пусков перспективных ракет-носителей типа «Иртыш» кислородно-керосиновыми маршевыми жидкостными ракетными двигателями космического ракетного комплекса Байтерек в районах падения космодрома Байконур. В качестве базовых направлений снижения техногенного воздействия отработавшего ускорителя первой ступени ракет-носителей типа «Иртыш» в районах падения приняты: определение оптимальных участков для падения отработавшего ускорителя в выделенных зонах районов падения, обладающих наибольшей устойчивостью и минимальной стоимостью работ на восстановление почвогрунтов участка падения отработавшего ускорителя в исходное состояние — (А); управляемый спуск отработавшего ускорителя после отделения от ракет-носителей в выделенный участок падения с точностью, не превышающей размеры выделенного оптимального участка — (Б). Для решения задач направления А предлагается создание дополнительной информационно-аналитической системы района падения. Для решения задач направления Б предлагаются возможные проектно-конструкторские решения, основанные на испарении невыработываемых жидких остатков топлива в баках отработавшего ускорителя, и использовании полученных парогазовых смесей для управляемого спуска отработавшего ускорителя в выделенную зону районов падения.

Ключевые слова: отработавшая ступень ракеты-носителя, информационно-аналитическая система, оценка экологического воздействия, пирогенное воздействие.

Введение

Эксплуатация ракет-носителей (РН) с жидкостными ракетными двигателями (ЖРД) связана с негативным воздействием на окружающую среду, что особенно проявляется в районах падения (РП) отработавшего ускорителя (ОС), из-за наличия особых свойств этого транспортного средства: наличие многоступенчатости и невыработываемых остатков жидкого топлива в баках и топливных магистралях. Первое свойство РН с ЖРД приводит к необходимости выделения значительных площадей на поверхности Земли для районов падения нижних ОС, а для орбитальных ОС это приводит к засорению околоземного космического пространства крупногабаритным потенциально взрывоопасным космическим мусором. Кроме того, обеспечение падения ОС в уже выделенные районы падения приводит к снижению выводимой массы полезной нагрузки РН на орбиты функционирования. Второе свойство РН с ЖРД приводит к повышению вероятности взрывов и пожаров в наземных районах падения ОС, химическому загрязнению почвогрунтов и водных источников. Все эти проявления имеют место в районах падения космодрома Байконур. Дальнейшее развитие РН с ЖРД, например, в США, идёт в направлении

спасения нижних ОС для их повторного использования, что приводит к резкому снижению площадей районов падения. Следует отметить, что существующие районы падения в США, ЕС, Японии, Индии находятся в акваториях Мирового океана, где вопросы с выделением районов падения стоят менее остро, чем в России, Казахстане.

В предлагаемом проекте рассматривается эволюционная концепция снижения техногенного воздействия ОС в районах падения космодрома Байконур, основанная на параллельной реализации двух базовых направлений снижения техногенного воздействия ОС в РП:

— определение оптимальных участков для падения ОС в выделенных зонах РП, обладающих наибольшей устойчивостью к техногенному воздействию, соответственно, минимальной стоимостью работ на восстановление почвогрунтов участка падения ОС в исходное состояние (А);

— управляемый спуск ОС после отделения от РН в выделенный участок падения с точностью, не превышающей размеры выделенного оптимального участка (Б). Для решения задач, связанных с направлением А, предлагается создание дополнительной информационно-аналитической системы района падения (ИАС_{РН}), входящей в состав системы экологического мониторинга космодрома Байконур СЭМК). Для решения задач,

связанных с направлением Б, предлагаются возможные проектно-конструкторские решения, основанные на испарении невырабатываемых жидких остатков топлива в баках ОС, обеспечивая её пожаровзрывобезопасность, и использовании полученных парогазовых смесей для управляемого спуска ОС при движении на траектории спуска в оптимальный участок, находящийся в выделенной зоне РП.

Обзор состояния проблемы техногенного воздействия в районах падения отработавших ускорителей ступеней РН с ЖРД

Проблема обеспечения экологической безопасности в районах падения ОС приобретает все большую актуальность в связи с возрастающими требованиями национальных законодательств об охране окружающей среды и претензиями общества.

Основными негативными факторами техногенного воздействия ОС в районах падения являются [1]: а) механическое загрязнение ОС и их фрагментами (разрушение конструкции и последующий разброс частей); б) химическое загрязнение проливами невырабатываемых остатков жидких компонентов ракетного топлива (КРТ); в) пироженное и термическое воздействие (пожары, взрывы).

При механическом загрязнении металлическими обломками и фрагментами ОС образуются воронки, повреждается почвенно-растительный покров (особенно сильно повреждается гумусовый слой почвы, проективное покрытие фитоценоза и изменяется флористический состав).

Химическое загрязнение жидкими остатками КРТ, приводящее к высокой вероятности пожаров, является наиболее агрессивным фактором воздействия. Величины жидких остатков КРТ для различных типов РН могут достигать трех и более процентов от начальной заправки КРТ.

Реальными и потенциальными факторами при эксплуатации РН могут быть пироженные и термические нарушения растительного и почвенного покрова РП, возникающие при падении ОС.

Как известно, уязвимость и устойчивость биогеоценоза в РП в результате действия негативных факторов техногенного характера определяется состоянием основных ее компонентов — экотопа (почва, климат, вода) и биотопа (растительности).

Почва выполняет ряд важнейших функций и является связующим звеном между биологическим и геологическим круговоротами веществ и энергии, в которой, по сути, преломляются и отражаются происходящие в ней процессы. Особые свойства почвенного покрова выражаются в ее плодородии — важнейшем условии существования жизни.

Кардинальная минимизация негативного техногенного воздействия ОС в РП достигается при условии управляемого спуска ОС в выделенный участок РП без жидких остатков КРТ в баках и магистралях ОС.

Следовательно, для решения проблемы обеспечения экологической безопасности территории РП при рациональной их эксплуатации необходимо сформулировать следующие базовые направления снижения техногенного воздействия:

— определение оптимальных участков для падения ОС в выделенных зонах S_{opt}^{ws} , обладающих наибольшей устойчивостью к техногенному воздействию пусков РН с маршевыми ЖРД, соответственно, минимальной стоимостью работ на восстановление почвогрунтов $\min C_{\Sigma}^{opt}$ участка падения в S_{opt}^{ws} в исходное состояние (А);

— управляемый спуск ОС после отделения от РН в выделенный участок S_{opt}^{ws} с точностью, не превышающей размеры выделенного оптимального участка при полном отсутствии жидких остатков КРТ в топливных баках и магистралях ОС (Б).

Для реализации направления (А) ниже рассматриваются факторы, определяющие устойчивость РП к техногенному воздействию: а) пожаробезопасность растительности и сопутствующих метеорологических условий; б) состояние почвенного покрова, в том числе угнетение плодородия и деградации почвенного покрова; в) состояние растительности.

1. Пожаробезопасность территории.

Наиболее вероятными причинами возникновения пожаров являются жидкие остатки КРТ в баках ОС, которые воспламеняются при разрушении топливных отсеков ОС в момент удара о поверхность грунтов в РП. Печально известный пример запуска РН «Союз-2.1а» [2], когда вследствие падения ОС с невыработанными остатками КРТ вспыхнул пожар, в результате тушения которого погибли люди. Площадь степного пожара достигла десяти тысяч гектаров. Техногенный характер возгорания усугубился условиями сложных погодных условий (жаркая погода, ветер).

Практика эксплуатации РН показала, что возгорания и пожары, повреждения растительного покрова из-за падения ОС происходят преимущественно в РП отработавших ускорителей первых ОС с кислородно-керосиновыми маршевыми ЖРД [3].

На вероятность возникновения пожаров существенное влияние оказывают [4]: а) положение того или иного участка в высотном поясе спектре территории (продолжительность периода со снежным покровом); б) характер подстилающих субстратов, угол наклона и экспозиция (которые во многом определяют перераспределение осадков по территории); в) характер собственно растительности (наличие или отсутствие ветоши, характер травяно-кустарничкового яруса (высота, густота, возможность «усыхания»).

Пожарную опасность определяют такие пожарно-технические характеристики, как горючесть; воспламеняемость; скорость распространения пламени по поверхности; дымообразующая способность; токсичность [4, 5].

Устойчивость экосистем к пироженному воздействию определяется, прежде всего, их способностью к воспламенению и горючестью. Образование горючей среды обусловлено наличием в нем достаточного количества горючего вещества — растительной биомассы, обладающей различными показателями горения.

В качестве дополнительного критерия второго уровня при оценке допустимой нагрузки при механическом и пироженном воздействии предлагается учет скорости восстановления фитоценоза после антропогенного нарушения [6], о чем

свидетельствует динамика постпирогенных сукцессий [7].

1.1. Климатические предпосылки возникновения пожаров.

Опасность возникновения пожара определяется комплексом взаимосвязанных метеоэлементов (осадки, влажность воздуха, его температура и др.).

Пожароопасным считается период с момента схода снежного покрова до наступления устойчивой дождливой осенней погоды или образования снежного покрова. Опасность возникновения пожаров увеличивается с северо-востока данного района на юго-запад вслед за увеличением засушливости климата. В течение пожароопасного сезона выделяют периоды пожарных максимумов, когда число пожаров превышает их среднее число.

Следует отметить, что температура воздуха определяется на уровне 2 м над поверхностью земли. В нижнем, приповерхностном слое воздуха температура может достигать существенно больших значений. Нагрев поверхности почвы в дневные часы велик — средний максимум температуры поверхности колеблется от 48 до 59 °С в июле, абсолютный максимум достигает 76 °С.

2. Почвенный покров.

Почвенный покров включает в свой состав десятки почвенных разновидностей, обладающих различными физико-химическими свойствами. Поэтому в целях упрощения работы по сбору информации и ее обработке используются известные справочные данные с применением почвенной карты данного региона.

Для оценки и градации выделения каждого участка целесообразным представляется определение бонитета почв [8]. Бонитировка почв района падения должна проводиться согласно стандартным методикам бонитировки почв. Балл бонитета каждой почвенной разновидности рассчитывается по процентному содержанию гумуса в полуметровом слое, а на все остальные свойства вводятся поправочные коэффициенты. Полученная таким образом бонитировочная шкала накладывается на почвенную карту.

Из-за неустойчивости почвогрунтов к механической нагрузке на территории в результате удара о поверхность земли тяжелых фрагментов, преимущественно двигательных установок и топливно-насосных агрегатов, образуются воронки разной размерности — диаметром 1–20 м, глубиной 0,3–1,5 м [9]. В качестве показателей сопротивляемости поверхностного слоя и трудоемкости ее разрушения для определения допустимой нагрузки к механическому воздействию используется учет механических свойств пород по шкале крепости [10].

3. Растительность.

Растительный покров, испытывая негативное техногенное воздействие, является при этом основным фактором в процессе самоочищения экосистемы. Потенциал растительности, участвующей в процессах перераспределения и накопления КРТ, зависит от комплекса таких факторов, как разновидность растительного сообщества, геохимические условия мест их произрастания, близость к источникам химического загрязнения КРТ, количество загрязняющих веществ,

поступивших на поверхность растительного покрова [9].

Основными характеристиками любого растительного сообщества являются флористический состав и структура. Кроме показателей видового разнообразия, структуры растительных сообществ, фитоценометрических характеристик, к критериям состояния растительности отнесены также показатели генеративности и пороков развития растительных организмов [9].

Ответная реакция растительности на техногенное воздействие запусков РН выражается в оценке устойчивости растительных сообществ, согласно которой выделяют слабо устойчивые, устойчивые и высоко устойчивые [6]. Потенциальная устойчивость растительных сообществ определяется эколого-биологическими свойствами самих растений [11, 12]. Восстановление некоторых сообществ происходит относительно быстро. В то же время отдельные сообщества характеризуются низким ежегодным приростом фитомассы, для их самовосстановления требуется более длительный срок. Отличительной чертой всех сообществ является их слабая устойчивость к пожарам и, вследствие этого, длительный сукцессионный период восстановления.

Для оценки устойчивости фитоценозов к специфическому техногенному воздействию предлагается учет следующих параметров: а) показатели густоты (структура) растительного сообщества; б) проективное покрытие (соотношение площади в ландшафте); в) фитомасса.

4. Оценка экономических затрат в районах падения на проведение мероприятий по минимизации техногенных последствий воздействия ОС.

Методология оценки экологического ущерба базируется на последовательной реализации двух основных процедур: определение отрицательных экологических изменений и установление его экономического эквивалента, т.е. стоимости экологического ущерба [1].

Согласно методикам определения платы за загрязнение окружающей природной среды (ОПС), экологический ущерб оценивается согласно базовым нормативным платам за выбросы и сбросы загрязняющих веществ. Размер платы за загрязнение ОПС в РП для каждого случая штатного падения ОС определяется конкретными условиями воздействия: падение с разрушением или без разрушения, с проливом или без пролива топлива, объемы пролива на грунт, сброс в водные объекты, выброс в атмосферу и т.д.

Суммарные затраты на экологическое обеспечение пусков и возмещение экологического ущерба включают следующие расходы: плату за загрязнение ОПС, проведение экологического мониторинга, очистку территории, компенсацию снижения продуктивности сельскохозяйственного производства и траты по линии здравоохранения [1].

К примеру, в части платы за загрязнение ОПС удельные затраты на размещение отходов (в ценах 1996 года) составили:

- для керосина Т-1 (отходы IV класса токсичности) — 70 000 руб./т;
- для несимметричного диметилгидразина (отходы I класса токсичности) — 490 000 руб./т.

В случае очистки территории, включающей сбор, детоксикацию и захоронение остатков КРТ и фрагментов ОС, нейтрализацию проливов, расходы на ликвидацию последствий существенно увеличиваются.

За все воздействия предусмотрены достаточно большие выплаты природоохранным органам. В ценах 1995 г. затраты на проведение контроля в РП составляли ~107 млн руб. на один пуск [1]. В случае попадания фрагментов ОС в населенный пункт последствия всех этих воздействий носят более критичный характер, требуют более оперативных мер по ликвидации их последствий и, возможно, эвакуации населения и проведения ему различных выплат за материальный и моральный ущерб [13].

Таким образом, эколого-экономические затраты на РП ОЧ для РН типа «Протон» могут составить от ~3% до ~35% от стоимости пуска (исходя из стоимости пуска, оцениваемой в ~300 млн руб. в ценах до 17.08.98), причем эти затраты существенно зависят от возможного варианта платы за загрязнение ОПС и природопользование [1]. Для РН типа «Зенит» и «Союз», использующих в качестве топлива керосин Т-1, затраты могут составить от 2 до 21 млн долларов за один пуск в ценах 2017–2018 гг. [1, 14].

Описание СЭМК и обоснование создания ИАС_{РН}

1. Описание существующей СЭМК космодрома Байконур.

Организация СЭМК является одним из ключевых моментов в обеспечении экологической безопасности ракетно-космической деятельности [1]. Цель функционирования СЭМК — решение задачи оценки вредных воздействий на окружающую природную среду и прогноз распространения загрязнений в районах ракетно-космической деятельности, обеспечение минимизации негативного техногенного влияния, своевременное предотвращение необратимых процессов ее деградации, выявление факторов воздействия, требующих оперативного вмешательства — совершенствования ракетно-космической техники или проведения природоохранных мероприятий.

Информационное обеспечение СЭМК представлено разработанными базами экологических данных и реализуется посредством геоинформационных систем, связанных с моделированием и визуализацией географического пространства и решением пространственных задач. Основной задачей ИАС-СЭМК является формирование оперативной информационно-аналитической оценки, возникающих экстремальных ситуаций (аварии, проливы и т.д.) и принятие оперативных и досрочных решений по локализации и ликвидации (компенсации) экологического ущерба от деятельности космодрома Байконур. В структуре ИАС-СЭМК выделяют подсистемы: подготовки исходных данных архивации и документирования; планирования, учета и контроля, анализа и регулирования; математического и геоинформационного моделирования; обработки информации, анализа и принятия решений; нормативно-правового обеспечения.

В качестве наглядной визуализации подсистемы ИАС-СЭМК выступает территориальное расположение обследованных ключевых участков и создание векторных слоев, которые имеют в структуре поля, заполненные информацией: номер РП, координаты места и даты падения, координаты точек отбора проб, максимальные значения ПДК, превышение нормативных показателей, используемая методология физико-химической диагностики и др. Основными параметрами устойчивости в разработанной системе критериев потенциальной устойчивости к техногенному воздействию являются показатели химического загрязнения, физико-химической трансформации КРТ, уменьшение биоразнообразия и состояние растительности на организменном и экосистемном уровнях [10].

Действующая ИАС ориентирована на мониторинг химического загрязнения территорий и практически не учитывает пирогенно-термическое и механическое воздействие РКТ [10].

2. Обоснование создания ИАС_{РН}

Процесс выбора оптимальных участков для падения ОС в выделенные зоны РП предлагается проводить на основе существующей системы СЭМК с введением в её состав разрабатываемой ИАС_{РН}, которая должна анализировать данные о состоянии почвенно-растительного покрова, рельефе местности, наличии водоисточников, метеопараметрах; классифицировать однородные группы объектов биогеоценоза; уточнять область воздействия штатных падений ОС.

ИАС_{РН} должна выполнять следующие функции:

- учет информации о литогенной основе, рельефе, типах почвогрунтов (подсистема «Почвогрунты»);
- подготовку информации о состоянии растительного покрова на основе архивных картографических данных и космоснимков (подсистема «Растительность»);
- подготовку информации о сезонности и анализ климатических данных (подсистема «Метеофакторы»);
- анализ справочных данных о пожарной безопасности по показателям горючести и воспламенения (подсистема «Пожаробезопасность»);
- учет и экономическая оценка мероприятий по ликвидации последствий падений ОС в РП;
- классификацию однородных групп объектов и анализ результатов зонирования РП.

Выделение устойчивых типов операционно-территориальных единиц

Реализация предлагаемого способа выделения оптимальной операционно-территориальной единицы (ОТЕ) опирается на существующую ИАС космодрома. В качестве ОТЕ выступают земельные участки S_i ($i = 1, 2, 3, \dots, N$), а в качестве показателей, характеризующих возможный ущерб от падения ОС в выделенную ОТЕ, предложены четыре основных критерия: а) Q_f пожаробезопасность (горючесть и воспламеняемость); б) Q_s крепость грунтов; в) Q_{bi} бонитет типа почв; г) Q_v состояние растительности (проективное покрытие, биомасса, период восстановления).

Выделение оптимальных типов ОТЕ предусматривает следующую последовательность действий.

1. На исследуемую территорию накладывается сетка из N участков с площадями S_i ($i = 1, 2, 3, \dots, N$). Каждый участок S_i представляет «мозаику» областей с определенным составом экосистемы. Размеры площадей S_i могут быть равными или различными, что определяется характеристиками выбранного района падения, степенью его детализации.

2. На основе анализа данных инвентаризации, физико-географических и природно-ресурсных карт, паспортов РП, данных дистанционного зондирования, методик оценки экологического воздействия [1] формируют базу данных для оценки величин введенных критериев.

3. Оценка величин введенных критериев Q_{fi} , Q_{si} , Q_{bi} , Q_{vi} для каждого участка площадью S_i .

1. *Определение критерия пожаробезопасности Q_{fi} .*

Пожаробезопасность каждого участка территории Q_{fi} складывается из показателей потенциала горючести $\Delta\Pi_{fi}$ (кДж/моль) и воспламеняемости Q_{fi} (кВт/м²) доминантного растительного сообщества [6]:

$$Q_{fi} = m_{1i} \Delta\Pi_{fi} + m_{2i} Q_{bi}, \quad (1)$$

где m_1 [(кДж/моль)⁻¹], m_2 [(кВт/м²)⁻¹] — весовые размерные коэффициенты, которые определяются для конкретного выделенного района и определяются в соответствии с методикой, например, [5].

Для проведения оценки затрат средств C_{si} , требуемых для восстановления выделенной площади ОТЕ S_i от ущерба, нанесенного пожаром, показатель Q_{fi} (1) умножается на величину коэффициента затрат C_{fi} , который определяется в соответствии с [1]:

$$C_{si} = Q_{fi} C_{fi}. \quad (2)$$

Для оценки величины критерия Q_{si} на основе известной шкалы [10] выделяется процентное соотношение крепости пород с определением весового коэффициента каждой породы k_{ni} и дается среднее значение

$$Q_{Si(ср)} = k_{1i} Q_{p1} + k_{2i} Q_{p2} + k_{3i} Q_{p3} + \dots + k_{Mi} Q_{pn}, \quad (3)$$

где M — числа пород, учитываемых в S_i -ой выделенной площади.

В соответствии с [1] определяется оценочная стоимость C_{si} и, соответственно, вычисляется оценка затрат на восстановление ущерба по критерию Q_{si} :

$$C_{Qpi} = C_{pi} \sum k_{ni} Q_{kni}. \quad (4)$$

Критерий Q_{bi} оценивается по аналогии с (2), (4), а оценка затрат на восстановление ущерба по критерию Q_{bi} имеет вид:

$$C_{Obi} = C_{bni} \sum k_{bni} Q_{bni}. \quad (5)$$

Оценка критерия Q_{vi} , характеризующего состояние растительного покрова, представляет

собой учет фитомассы Q_{vmi} (ц/га) и проективного покрытия Q_{ppri} (в %):

$$Q_{vi} = n_{vi} Q_{vmi} Q_{ppri}, \quad (6)$$

где n_{vi} [(ц/га)⁻¹] — весовой коэффициент по аналогии (1) и определяется в соответствии с [6].

Дополнительный критерий v_{vri} — скорость восстановления экосистемы (в баллах) после механического или пирогенного воздействия, вводится по мере накопления материалов мониторинговых обследований [6]. Соответственно, стоимость восстановления ущерба по критерию Q_v по аналогии с (2), (4), (5) можно записать в виде:

$$C_{vi} = n_{vi} Q_{vmi} v_{vri} C_{nvi}. \quad (7)$$

Суммарный показатель стоимости $C_{\Sigma i}$ восстановления ущерба в выделенной ОТЕ площадью S_i от воздействий указанных выше факторов является суммой стоимостей (2), (4), (5), (7):

$$C_{\Sigma i} = C_{si} + C_{Qpi} + C_{Obi} + C_{vi}. \quad (8)$$

Выбор оптимальной зоны для падения ОС осуществляется из условия

$$\min \sum_i \min C_{\Sigma i}. \quad (9)$$

Обеспечение пожаровзрывобезопасности и управляемого спуска ОС

1. Обеспечение пожаровзрывобезопасности.

После отделения ОС от РН в топливных баках и магистралях ОС всегда остаются неиспользуемые жидкие остатки КРТ, которые и являются основной причиной повышенного техногенного воздействия на окружающую среду в РП [15, 16].

В этой связи на этапе проектирования и наземной отработки РН затрачиваются значительные ресурсы средств и времени на ликвидацию невыработываемых остатков КРТ в баках и топливных магистралях РН. Проблема ликвидации жидких остатков КРТ усложняется тем, что они находятся в неопределенном положении в объеме баков, в газожидкостной фазе. В соответствии с предлагаемой технологией обеспечение пожаровзрывобезопасности ОС₁ достигается за счёт последовательности следующих действий:

— продувка топливных магистралей, при которой вся масса КРТ, находящаяся в магистралях, попадает в соответствующие топливные баки;

— подача в топливные баки необходимого количества теплоты для испарения неиспользуемых жидких остатков КРТ;

— сброс получившейся парогазовой смеси из каждого бака через газореактивные сопла системы управления;

— в баках ОС₁ остаётся давление наддува, обеспечивающее необходимую прочность конструкции при аэродинамическом нагружении;

— к моменту приземления ОС₁ все жидкие остатки должны быть испарены, а парогазовые смеси сброшены в течение полёта ОС₁ на траектории спуска.



Рис. 1. Технологические и схемные варианты решения задачи ликвидации невыработываемых остатков КРТ в баках и топливных магистралях РН после выключения маршевого ЖРД;

а) традиционный вариант на основе использования отработанных технических решений;

б) предлагаемый вариант на основе испарения остатков КРТ

Fig. 1. Technological and circuit options for solving the problem of eliminating unused RP residues in the tanks and fuel main lines of the LV after shutdown of the main LRE:

a) the traditional version based on the use of proven technical solutions;

b) the proposed option based on the evaporation of residual RP

На рис. 1а, б, представлены два варианта, реализующих различные технологии и схемные решения этой задачи для отработавшего ускорителя первой ступени РН—ОС₁. Вариант 2 основывается на традиционном подходе, предусматривающем использование системы выброса остатков жидких КРТ через выключенный ЖРД, баки с выжимными мембранами, использование методов терминального управления для полной выработки наиболее токсичного КРТ и выключения ЖРД и т.д. Вариант №1 основывается на испарении неиспользуемых жидких остатков КРТ после

выключения ЖРД. Этот вариант предусматривает подачу теплоты в баки ОС, испарение остатков КРТ и дальнейшую их утилизацию.

Как следует из приведённых на рис. 1 технологических решений для традиционного и предлагаемого варианта существенными отличиями являются системы извлечения невыработанных остатков жидких КРТ. Общими являются необходимость установки на ОС₁ системы навигации и управления движением, в том числе: бесплатформенная навигационная система (БИНС); глобальная навигационная спутниковая система

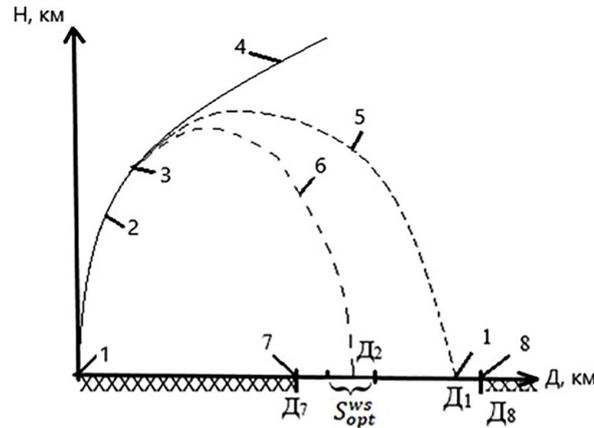


Рис. 2. Схема управляемого спуска $ОС_1$ в выделенную зону:
 1 — точка старта РН; 2 — активный участок траектории выведения первой ступени РН;
 3 — отделение $ОС_1$; 4 — активный участок траектории выведения второй ступени РН;
 5 — баллистическая траектория спуска $ОС_1$, соответствующая энергетически оптимальной траектории выведения первой ступени РН; точка падения $ОС_1$ находится на расстоянии D_1 от точки старта РН;
 6 — попадающая траектория управляемого спуска $ОС_1$ в выделенную зону S_{opt}^{ws} , центр которой находится на расстоянии D_2 от точки старта РН;
 7 — начало территории РП, соответствующее дальности D_7 от точки старта РН 1;
 8 — конец РП, соответствующий дальности D_8 от точки старта РН 1

Fig. 2. Scheme of controlled descent of WS_1 to the selected zone:
 1 — launch point of LV; 2 — the active part of the trajectory of the removal of the first stage of the LV;
 3 — branch WS_1 ; 4 — the active part of the trajectory of the removal of the second stage of the LV;
 5 — ballistic descent path WS_1 , corresponding to the energetically optimal trajectory of the launch of the first stage of the LV; the point of incidence of WS_1 is at a distance D_1 from the launch point of the LV;
 6 — the falling trajectory of the controlled descent of WS_1 to the selected zone S_{opt}^{ws} , the center of which is located at a distance D_2 from the launch point of LV;
 7 — the beginning of the territory FA corresponding to the distance D_7 from the starting point of the LV 1;
 8 — the end of the FA, corresponding to the distance D_8 from the starting point of the LV 1

(ГЛОНАСС); системы реализации продуктов газификации (испарения) газореактивная система, возможно модернизация ЖРД для повторного запуска на газифицированных остатках КРТ.

Независимо от вариантов реализации технологических, схемных и проектно-конструкторских решений всё приводит к необходимости создания автономной бортовой системы спуска (АБСС) отработавших ускорителей с траектории выведения нижних ОС или спуска с орбит верхних ОС [17].

2. Управляемый спуск $ОС_1$.

Специфика использования АБСС заключается в том, что при её наличии на борту РН возможно снятие одного из важнейших ограничений при расчёте программы управления выведением РН на активном участке траектории (программы тангажа) — условия падения ОС в выделенные РП. Реализация этого требования приводит к существенному снижению массы выводимой полезной нагрузки [15]. Одной из основных за-

дач, решаемых АБСС, является расчёт программы управления спуском ОС, переводящим её траекторию движения с энергетически оптимальной траектории, приводящей в точку прицеливания, находящуюся на расстоянии D_1 от старта, на попадающую траекторию, приводящую в выделенную точку, находящуюся на расстоянии D_2 от старта и находящуюся в выделенной зоне S_{opt}^{ws} (рис. 2).

На рис. 2 приведена схема спуска $ОС_1$ с энергетически оптимальной траектории спуска на попадающую траекторию.

При расчёте программного движения $ОС_1$, обеспечивающего переход с оптимальной траектории 5 на попадающую траекторию 6, соответственно, падения $ОС_1$ в выделенную зону S_{opt}^{ws} , центр которой находится на расстоянии D_2 от точки старта РН 1, необходимы соответствующие энергетические ресурсы на борту $ОС_1$ (располагаемые запасы энергии), а также располагаемое время T на манёвр перехода с траектории 5 на траекторию 6.

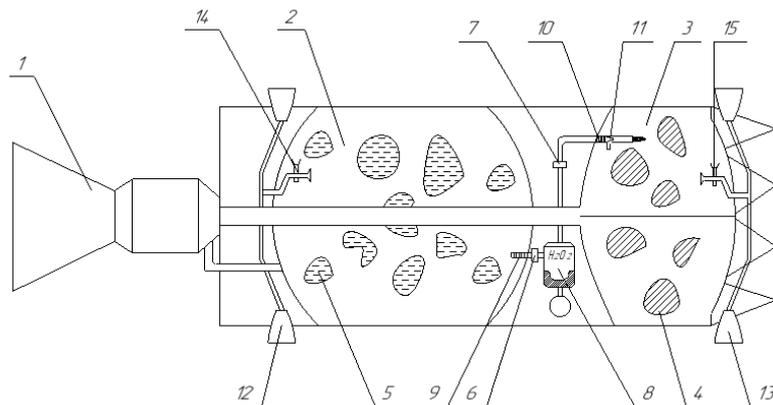


Рис. 3. Схема системы испарения жидких остатков КРТ на примере ОС традиционной тандемной компоновки:

- 1 — маршевый ЖРД; 2 — бак О; 3 — бак Г;
 4 — жидкие остатки керосина в условиях невесомости;
 5 — жидкие остатки кислорода в условиях невесомости;
 6, 7 — управляемые клапаны в баках О, Г;
 8 — баллон с перекисью водорода;
 9, 10 — устройства газификации перекиси водорода в баках О, Г;
 11 — эжекционная система подачи паров керосина;
 12, 13 — газореактивные сопла сброса парогазовых смесей из баков О, Г;
 14, 15 — управляемые клапаны подачи парогазовой смеси из баков О, Г на газореактивные сопла 12, 13

Fig. 3. Scheme of the system for evaporation of liquid residues of RP using the example of a traditional tandem WS arrangement:

- 1 — main LRE; 2 — O tank; 3 — F tank;
 4 — liquid kerosene residues in weightless conditions;
 5 — liquid oxygen residues in weightless conditions;
 6, 7 — controlled valves in O, F tanks; 8 — cylinder with hydrogen peroxide;
 9, 10 — devices for the gasification of hydrogen peroxide in O, F tanks;
 11 — kerosene vapor ejection system;
 12, 13 — gas jet nozzles for discharge of vapor-gas mixtures from O, F tanks;
 14, 15 — controlled valves supplying the gas-vapor mixture from the O, F tanks to the gas-jet nozzles 12, 13

Энергетические ресурсы, которыми можно располагать при совершении манёвра ОС₁, определяются количеством остатков жидких КРТ в баках ОС₁ после выключения ЖРД.

Располагаемое время на манёвр T будет складываться:

— из общего времени пассивного полёта ОС₁ по траектории б, определяемого совместно при расчёте программы выведения РН и управляемого движения ОС₁;

— времени приведения АБСС в рабочее состояние, т.е. проведения ряда операций, обеспечивающих поднятие давления парогазовых смесей в баках ОС для их последующего использования в качестве рабочего тела в газореактивной системе.

На рис. 3 приведена схема системы испарения на примере обобщённой конструкции ОС, где введены обозначения: бак окислителя — бак (О), бак горючего — (Г), ПВ — перекись водорода.

После выключения маршевого ЖРД-1 в баках О 2 и Г 3 остаются жидкие невырабатываемые остатки КРТ 4,5 как в жидкой, так и в газовой фазе, газ наддува гелий. По команде из системы управления открываются управляемые клапаны 6, 7 и ПВ из ёмкости 8 с заданными секундными массовыми расходами подаются в баки О 2 и Г 3.

В баке О осуществляют разложение ПВ на каталитическом устройстве 9 и горячие газы (до ~1000 °С) продуктов разложения ПВ осуществляют конвективный механизм передачи теплоты в бак О, минимизируя нагрев стенок бака О.

В баке Г осуществляют разложение ПВ на каталитическом устройстве 10 и горячие газы продуктов разложения ПВ взаимодействуют с парогазовой смесью в баке (ПГС_Г) и жидкими остатками керосина, испаряя их. При достижении концентрации керосина в ПГС_Г, достаточной для горения, осуществляют её зажигание, используя инжекционную подачу ПГС_Г в поток продуктов разложения. Сжигание ПГС_Г возможно при определённой концентрации паров керосина в ПГС_Г, соответственно, величинах остатка керосина в баке Г.

Для определения проектно-конструкторских параметров системы испарения, приведённой на рис. 3, необходима разработка соответствующей методики проектирования с последующей экспериментальной проверкой.

Выводы

1. Рассмотрены предложения по разработке научно-методического подхода к минимизации техногенного воздействия пусков перспективных

Список источников

РН с типа «Иртыш» кислородно-керосиновыми маршевыми жидкостными ракетными двигателями космического ракетного комплекса Байтерек в районах падения космодрома Байконур.

2. В качестве базовых направлений снижения техногенного воздействия ОС первой ступени РН типа «Иртыш» в РП приняты:

— определение оптимальных участков для падения ОС в выделенных зонах РП, обладающей наибольшей устойчивостью к техногенному воздействию, соответственно, минимальной стоимостью работ на восстановление почвогрунтов участка падения ОС в исходное состояние — направление А;

— управляемый спуск ОС после отделения от РН в выделенный участок падения с точностью, не превышающей размеры выделенного оптимального участка, — направление Б.

3. Для решения задач, связанных с направлением А, предлагается создание дополнительной ИАС_{рп}, входящей в состав системы экологического менеджмента космодрома Байконур. Для решения задач, связанных с направлением Б, предлагаются возможные проектно-конструкторские решения, основанные на испарении невырабатываемых жидких остатков топлива в баках ОС, обеспечивая её пожаровзрывобезопасность, и использовании полученных парогазовых смесей для управляемого спуска ОС при движении на траектории спуска в оптимальный участок, находящийся в выделенной зоне РП.

4. В рамках направления А разработаны критериальные оценки, характеризующие основные экологические показатели исследуемого РП: пожароопасность, почвенный покров, растительность для последующего включения в ИАС_{рп}. Показаны объективная необходимость и основные положения по созданию ИАС_{рп}, являющейся составляющей системы экологического менеджмента космодрома.

5. В рамках направления Б предложены технологические, схемные и проектно-конструкторские решения по обеспечению пожаробезопасности ОС на основе полного испарения жидких остатков КРТ в баках и магистралях ОС и возможности управляемого спуска ОС в рекомендуемый участок района падения. Показана практическая реализуемость предложенных решений на основе существующих и отработанных узлов и агрегатов, используемых при эксплуатации РН.

Благодарности

Исследования проведены при поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках гранта № AP05131162 «Теоретические и экспериментальные исследования инновационной технологии создания РН с улучшенными экологическими характеристиками на примере перспективных РН, запускаемых с космодрома Байконур» и при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания подведомственным образовательным организациям, проект «Повышение экологической безопасности и экономической эффективности ракет-носителей с маршевыми жидкостными ракетными двигателями», задание № 9.1023.2017/ПЧ.

1. Авдошкин В. В., Аверкиев Н. Ф., Ардашев А. А. [и др.]. Проблемные вопросы использования трасс запусков космических аппаратов и районов падения отделяющихся частей ракет космического назначения: моногр. / под ред. А. С. Фадеева, Н. Ф. Аверкиева. СПб.: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2016. 371 с. ISBN 978-5-4240-0140-6.

2. Возгорание частей ракеты-носителя произошло на арендованной РФ территории // Министерство оборонной и аэрокосмической промышленности Республики Казахстан. Аэрокосмический комитет. URL: <http://gh-ecology.kz/ruc-vozhgoranie-chastej-rakety-nositelya-proizoshlo-na-arendovannoj-rf-territorii.html> (дата обращения: 20.04.2019).

3. Шатров Я. Т., Баранов Д. А., Суйменбаев Б. Т., Трушляков В. И. Повышение пожаровзрывобезопасности при эксплуатации отработавших ступеней ракет-носителей с жидкостными ракетными двигателями // Пожаровзрывобезопасность. 2016. Т. 25, № 4. С. 30–42. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.04.30-42.

4. ГОСТ 12.1.004–91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением № 1). Введ. 1992–07–01. М.: Стандартинформ, 2006. 68 с.

5. ГОСТ 12.1.044–2018. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. Введ. 2019–05–01. М.: Стандартинформ, 2018. 100 с.

6. Кондратьев А. Д., Касимов Н. С., Кречетов П. П. [и др.]. Экологическая безопасность ракетно-космической деятельности. М.: Спутник+, 2015. 280 с. ISBN 978-5-9973-3558-8.

7. Ильина В. Н. Пирогенное воздействие на растительный покров // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2011. Т. 20, № 2. С. 4–30.

8. Блисов Т. М. Земельный кадастр и оценка земель. Костанай: КГУ им. А. Байтурсынова, 2003. 42 с.

9. Жубатов Ж., Товасаров А., Козловский В. [и др.]. Экологическая безопасность деятельности космодрома «Байконур» / под ред. Ж. Жубатова. Алматы, 2011. 555 с. ISBN 978-601-06-1549-6.

10. ГОСТ 21153.1–75. Породы горные. Метод определения коэффициента крепости по Протодюкову (с Изменением № 1). Введ. 1976–07–01. М.: Стандартинформ, 1982. 3 с.

11. Неронов В. В., Черницова О. В., Королева Т. В. [и др.]. Современное состояние растительности космодрома Байконур и оценка ее потенциальной устойчивости к воздействию ракетно-космической деятельности // Аридные экосистемы. 2012. Т. 18, № 3 (52). С. 72–85.

12. Мирошниченко Ю. М. Растительность аридной зоны СССР, ее использование и мелиорация // Итоги науки и техники. Серия «Ботаника». 1987. Т. 7. С. 84–165.

13. Об утверждении Правил экономической оценки ущерба от загрязнения окружающей среды: постановление Правительства Республики Казахстан от 27 июня 2007 г., № 535 (с изменениями). Доступ из информационно-правовой системы нормативных правовых актов Республики Казахстан «Әділет».

14. Баллистические ракеты и ракеты-носители / под ред. О. М. Алифонова. М.: Дрофа, 2004. 511 с. ISBN 5-7107-7086-8.

15. Trushlyakov V., Shatrov Ya. Improving of technical characteristics of launch vehicles with liquid rocket engines using active onboard de-orbiting systems // Acta Astronautica. 2017. Vol. 138. P. 19–27. DOI: 10.1016/j.actaastro.2017.05.018.

16. Trushlyakov V., Shatrov Ya., Sujmenbayev B., Baranov D. The designing of launch vehicles with liquid propulsion engines ensuring fire, explosion and environmental safety requirements of worked-off stages // Acta Astronautica. 2017. Vol. 131. P. 96 – 101. DOI: 10.1016/j.actaastro.2016.11.031.

17. 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. 2015. № 5 (84). С. 76–82.

СУЙМЕНБАЕВ Багдат Темиргалиевич, доктор технических наук, профессор (Казахстан), главный научный сотрудник лаборатории аэрокосмических технологий Института информационных и вычислительных технологий (ИИВТ), г. Алматы. AuthorID (SCOPUS): 57192163113
ORCID: 0000-0003-4456-2593

Адрес для переписки: bts49@mail.ru

ТРУШЛЯКОВ Валерий Иванович, доктор технических наук, профессор (Россия), профессор кафедры «Авиа- и ракетостроение» Омского государственного технического университета, г. Омск.

SPIN-код: 2910-2159

AuthorID (РИНЦ): 9914

AuthorID (SCOPUS): 56454317700

ResearcherID: D-7270-2015

Адрес для переписки: vatrushlyakov@yandex.ru

ЕРМОЛДИНА Гульназ Тлеубаевна, старший научный сотрудник лаборатории аэрокосмических технологий ИИВТ, г. Алматы.

ORCID: 0000-0003-2143-7618

ResearcherID: C-8817-2019

Адрес для переписки: gulerm@mail.ru

СУЙМЕНБАЕВА Жанна Багдатовна, старший научный сотрудник лаборатории аэрокосмических технологий ИИВТ, г. Алматы.

ORCID: 0000-0002-2347-356X

ResearcherID: E-3395-2019

Адрес для переписки: zbs115@mail.ru

БАПЫШЕВ Акылбек Мирзабекович, младший научный сотрудник лаборатории аэрокосмических технологий ИИВТ, г. Алматы.

ORCID: 0000-0002-0276-6670

ResearcherID: C-5667-2019

Адрес для переписки: ako-bapyshev@mail.ru

Для цитирования

Суйменбаев Б. Т., Трушляков В. И., Ермолдина Г. Т., Суйменбаева Ж. Б., Бapышев А. М. Концепция снижения техногенного воздействия пусков перспективной РН «Иртыш» в районах падения космодрома Байконур // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2019. Т. 3, № 2. С. 115–126. DOI: 10.25206/2588-0373-2019-3-2-115-126.

Статья поступила в редакцию 30.04.2019 г.

© Б. Т. Суйменбаев, В. И. Трушляков, Г. Т. Ермолдина,
Ж. Б. Суйменбаева, А. М. Бapышев

THE CONCEPT OF REDUCING THE MAN-MADE IMPACT OF LAUNCHES OF THE PROMISING IRTYSH LAUNCH VEHICLE IN THE IMPACT AREAS OF THE BAIKONUR COSMODROME

B. T. Suimenbayev¹, V. I. Trushlyakov², G. T. Yermoldina¹,
Zh. B. Suimenbayeva¹, A. M. Bapyshev¹

¹Institute of Information and Computational Technologies,
Republic of Kazakhstan, Almaty, Pushkin St., 125, 050010

²Omsk State Technical University,
Russia, Omsk, Mira Ave., 11, 644050

Scientific and methodological approaches to minimizing the man-made impact of launches of promising carrier rockets of the «Irtys» type by oxygen-kerosene main liquid-propellant rocket engines of the Baïterek rocket complex in areas of falling of the Baikonur cosmodrome are considered. The basic directions for reducing the anthropogenic impact of the spent booster of the first stage of the «Irtys» type LV in the areas of falling are: determination of optimal areas for the spent booster to fall in selected areas of the FA with the highest stability and minimum cost of works on restoring the soil state — (A); controlled descent of the spent booster after separation from the LV to the designated section of the fall with an accuracy not exceeding the size of the selected optimal section — (B). To solve problems of direction A, it is proposed to create an additional information and analytical system of the area of falling. To solve the problems of direction B, possible design solutions are proposed based on the evaporation of non-producing liquid propellant residues in the spent booster tanks, and using the resulting vapor-gas mixtures for controlled descent of spent booster to the designated FA zone.

Keywords: worked-off stage, information and analytical system, ecological impact assessment, pyrogenic effect.

References

1. Avdoshkin V. V., Averkiyev N. F., Ardashov A. A. [et al.]. Problemnyye voprosy ispol'zovaniya trass zapuskov kosmicheskikh apparatov i rayonov padeniya otdelyayushchikhsya chastey raket kosmicheskogo naznacheniya [The problematic issues of the use of routes launches of spacecraft and areas of falling of the separating parts of space rockets] / Eds. A. S. Fadeyev, N. F. Averkiyev. St. Petersburg, 2016. 371 p. ISBN 978-5-4240-0140-6. (In Russ.).
2. Vozgoraniye chastey rakety-nositelya proizoshlo na arendovannoy RF territorii [Ignition of carrier rocket parts occurred on the territory leased by the Russian Federation] // Ministerstvo oboronnoy i aerokosmicheskoy promyshlennosti Respubliki Kazakhstan. Aerokosmicheskyy Komitet [Ministry of Defense and Aerospace Industry of the Republic of Kazakhstan. Aerospace Committee]. URL: <http://gh-ecology.kz/ruc-vozhgoranie-chastej-rakety-nositelya-proizoshlo-naarendovannoy-rf-territorii.html> (accessed: 20.04.2019). (In Russ.).
3. Shatrov Ya. T., Baranov D. A., Suimenbayev B. T., Trushlyakov V. I. Povysheniye pozharovzryvobezопасnosti pri ekspluatatsii otrabotavshikh stupeney raket-nositeley s zhidkostnymi raketnymi dvigatelyami [Fire and explosion safety improvement during the launch vehicle worked-off stages with liquid propulsion engine operation] // Pozharovzryvobezопасnost'. *Fire and Explosion Safety*. 2016. Vol. 25, no. 4. P. 30 – 42. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.04.30-42. (In Russ.).
4. GOST 12.1.004–91. Sistema standartov bezопасnosti truda (SSBT). Pozharnaya bezопасnost'. Obshchiye trebovaniya (s Izmeneniyem № 1) [Occupational Safety Standards System (OSSS). Fire safety. General requirements]. Moscow: Standartinform Publ., 2006. 68 p. (In Russ.).
5. GOST 12.1.044–2018. Sistema standartov bezопасnosti truda (SSBT). Pozharovzryvobezопасnost' veshchestv i materialov. Nomenklatura pokazateley i metody ikh opredeleniya [Occupational Safety Standards System (OSSS). Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indicators and methods for their determination]. Moscow: Standartinform Publ., 2018. 100 p. (In Russ.).
6. Kondratiev A. D., Kasimov N. S., Krechetov P. P. [et al.]. Ekologicheskaya bezопасnost' raketno-kosmicheskoy deyatel'nosti [Ecological safety of rocket and space activity]. Moscow: Sputnik + Publ., 2015. 280 p. ISBN 978-5-9973-3558-8. (In Russ.).
7. Ilina V. N. Pirogennoye vozdeystviye na rastitel'nyy pokrov [Pyrogenic effect on vegetation cover] // Samarskaya Luka: problemy regional'noy i global'noy ekologii. *Samarskaya Luka: Problemy Regional'noy i Global'noy Ekologii*. 2011. Vol. 20, no. 2. P. 4–30. (In Russ.).
8. Blisov T. M. Zemel'nyy kadastr i otsenka zemel' [Land cadastre and assessment of land]. Kostanay: KSU Publ., 2003. 42 p. (In Russ.).
9. Zhubatov Zh., Tovasarov A., Kozlovskiy V. [et al.]. Ekologicheskaya bezопасnost' deyatel'nosti kosmodroma «Baikonur» [Ecological safety of the Baikonur cosmodrome activity] / Ed. Zh. Zhubatov. Almaty, 2011. 555 p. ISBN 978-601-06-1549-6. (In Russ.).
10. GOST 21153.1–75. Porody gornyye. Metod opredeleniya koeffitsiyenta kreposti po Protod'yakonovu (s Izmeneniyem № 1) [Mountain rocks. The method for determining

the coefficient of fortress according to Protodiakonov]. Moscow: Standartinform Publ., 1982. 3 p. (In Russ.).

11. Neronov V. V., Chernitsova O. V., Koroleva T. V. [et al.]. Sovremennoye sostoyaniye rastitel'nosti kosmodroma Baykonur i otsenka eye potentsial'noy ustoychivosti k vozdeystviyu raketno-kosmicheskoy deyatel'nosti [Contemporary state of vegetation in Baikonur Cosmodrome and estimate of its potential resistance to impact of space-rocket activities] // Aridnyye ekosistemy. *Arid Ecosystems*. 2012. Vol. 18, no. 3 (52). P. 72–85. (In Russ.).

12. Miroshnichenko Yu. M. Rastitel'nost' aridnoy zony SSSR, eye ispol'zovaniye i melioratsiya [The vegetation of the arid zone of the USSR, its use and amelioration] // Itogi nauki i tekhniki. Seriya «Botanika». *Itogi Nauki i Tekhniki. Seriya «Botanika»*. 1987. Vol. 7. P. 84–165. (In Russ.).

13. Ob utverzhdenii Pravil ekonomicheskoy otsenki ushcherba ot zagryazneniya okruzhayushchey sredy: postanovleniye Pravitel'stva Respubliki Kazakhstan ot 27 iyunya 2007 g., № 535 (s izmeneniyami) [On approval of the Rules for the economic assessment of damage from environmental pollution]. (In Russ.).

14. Ballisticheskiye rakety i rakety-nositeli [Ballistic missiles and launch vehicles] / Ed. O. M. Alifonov. Moscow: Drofa Publ., 2004. 511 p. ISBN 5-7107-7086-8. (In Russ.).

15. Trushlyakov V., Shatrov Ya. Improving of technical characteristics of launch vehicles with liquid rocket engines using active onboard de-orbiting systems // *Acta Astronautica*. 2017. Vol. 138. P. 19–27. DOI: 10.1016/j.actaastro.2017.05.018. (In Engl.).

16. Trushlyakov V., Shatrov Ya., Sujmenbayev B., Baranov D., The designing of launch vehicles with liquid propulsion engines ensuring fire, explosion and environmental safety requirements of worked-off stages // *Acta Astronautica*. 2017. Vol. 131. P. 96–101. DOI: 10.1016/j.actaastro.2016.11.031. (In Engl.).

17. Baranov D. A., Makarov Yu. N., Trushlyakov V. I., Shatrov Ya. T. Proyekt sozdaniya avtonomnoy bortovoy sistemy uvoda otrabotavshikh stupeney raket-nositeley v zadannyye oblasti [The Project of Creating an Autonomous Onboard System of Disposal of Spent Stages of Launch Vehicles in the Defined Area] // *Kosmonavtika i raketostroyeniye. Kosmonavtika i Raketostroyeniye*. 2015. No. 5 (84). P. 76–82. (In Russ.).

SUIMENBAYEV Bagdat Temirgaliyevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Senior Researcher

of Aerospace Technologies Laboratory, Institute of Information and Computational Technologies (IICT), Almaty.

AuthorID (SCOPUS): 57192163113

ORCID: 0000-0003-4456-2593

Address for correspondence: bts49@mail.ru

TRUSHLYAKOV Valery Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of Aviation and Rocketry Department, Omsk State Technical University, Omsk. SPIN-code: 2910-2159

AuthorID (RSCI): 9914

AuthorID (SCOPUS): 56454317700

ResearcherID: D-7270-2015

Address for correspondence:

vatrushlyakov@yandex.ru

YERMOLDINA Gulnaz Tleubaevna, Senior Researcher of Aerospace Technologies Laboratory, IICT, Almaty.

ORCID: 0000-0003-2143-7618

ResearcherID: C-8817-2019

Address for correspondence: gulerm@mail.ru

SUIMENBAYEVA Zhanna Bagdatovna, Senior Researcher of Aerospace Technologies Laboratory, IICT, Almaty.

ORCID: 0000-0002-2347-356X

ResearcherID: E-3395-2019

Address for correspondence: zbs115@mail.ru

BAPYSHEV Akylbek Mirzabekovich, Junior Researcher of Aerospace Technologies Laboratory, IICT, Almaty.

ORCID: 0000-0002-0276-6670

ResearcherID: C-5667-2019

Address for correspondence: ako-bapyshev@mail.ru

For citations

Suimenbayev B. T., Trushlyakov V. I., Yermoldina G. T., Suimenbayeva Zh. B., Bapyshev A. M. The concept of reducing the man-made impact of launches of the promising Irtys launch vehicle in the impact areas of the Baikonur cosmodrome // *Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering*. 2019. Vol. 3, no. 2. P. 115–126. DOI: 10.25206/2588-0373-2019-3-2-115-126.

Received 30 April 2019.

© B. T. Suimenbayev, V. I. Trushlyakov, G. T. Yermoldina, Zh. B. Suimenbayeva, A. M. Bapyshev