

Д.А.Булекбаев, кандидат технических наук, доцент

## **Проблемные вопросы баллистического обоснования районов падения отделяющихся частей ракет космического назначения и пути их разрешения**

*Статья посвящена анализу проблемных вопросов обоснования районов падения отделяющихся частей ракет космического назначения. Определены основные направления их разрешения: поиск оптимальных программ управления движением ракеты космического назначения на активном участке траектории, использование при проведении баллистических расчетов данных оперативного зондирования атмосферы, учет возможного разрушения отделяющихся частей на пассивном участке траектории, привлечение измерительной информации и опытных данных по результатам проведенных пусков.*

Неотъемлемым элементом при решении задачи обеспечения гарантированного доступа России на стратегически важные типы орбит в космосе является вопрос баллистического обоснования трасс запусков космических аппаратов (КА) и выбора районов падения (РП) отделяющихся частей ракет космического назначения (ОЧ РКН).

В условиях СССР с абсолютным приоритетом государственных интересов выделение территорий под РП представляло собой чисто техническую проблему. К настоящему времени ситуация резко изменилась. Принятие законов «О земельной реформе», «Об охране окружающей среды» позволило органам местной власти предъявлять законные требования по возмещению ущерба, наносимого природной среде ОЧ РКН в результате их падения на землю, разрушения и пролива остатков компонентов ракетного топлива. В результате серьезные проблемы стали возникать не только при открытии новых трасс, но и при использовании существующих РП.

Возросли экономические компенсации за возмещение непреднамеренного ущерба, наносимого космической деятельностью, которые могут составлять от 3% до 30% от стоимости всей пусковой программы конкретного КА [1]. Важность практического решения экологических проблем, возникающих в результате космической деятельности, отмечена в Федеральной космической программе (ФКП).

В ней указаны основные направления обеспечения экологической безопасности: сокращение номенклатуры используемых ракет-носителей с 10 до 4 типов, совмещение районов падения отделяемых частей различных ракет-носителей, применение гибких программ управления ракетами-носителями в полете, снижение остатков топлива в отработанных ступенях, экологическое обследование районов падения, космодромов и технологических объектов.

Особую значимость вопрос полноты и достоверности информации о характеристиках районов падения ОЧ РКН приобретает в связи со строительством нового российского космодрома «Восточный». И здесь возникают трудности с резервированием земельных участков для предполагаемых РП из-за ограничений объектов хозяйственной деятельности регионов.

Необходимо учитывать и международный аспект: при запусках РКН с космодрома «Байконур» для районов падения используются территории сопредельных государств. Выделение новых районов падения и согласование их на межгосударственном уровне представляет трудноразрешимую задачу, и требуется строгое соблюдение международных обязательств и выдача достоверной информации о закрываемых РП ОЧ РКН.

Актуальность данного вопроса также обусловливается возможностью расширения коммерческой деятельности России на миро-

вом космическом рынке спроса транспортных услуг, как обязательного условия сохранения и развития отечественной ракетно-космической отрасли. Это в полной мере относится и к пускам конверсионных ракет по программе «Днепр», когда пуски носят эпизодический характер и выделение новых районов падения для приема ОЧ представляется проблематичным. Выход из ситуации может быть найден в обоснованном использовании штатных РП ОЧ различных типов РН при проведении пусков по новым трассам.

Таким образом, вопрос выбора РП ОЧ РКН и прогнозирования их параметров для решения общей задачи обеспечения гарантированного доступа России в космос остается в настоящее время актуальным.

В редакции Федерального закона «О космической деятельности» «выделение земельных участков и использование их под объекты космической инфраструктуры осуществляется в соответствии с законодательством Российской Федерации»<sup>1</sup>. С введением в действие Земельного кодекса РФ порядок использования земель под РП ОЧ вступил в противоречие с действующим законодательством. В настоящее время отсутствует реальный механизм ограничения землепользования на территории РП, а также определенность с платой за землю, используемую под РП ОЧ.

Размеры отчуждаемых территорий под РП выбираются из условия попадания эллипсов рассеивания точек падения ОЧ и их фрагментов в выделенный район с учетом возможности пуска РКН в любой период года.

Характерными возмущающими факторами, влияющими на рассеивание ОЧ РКН, являются отклонения:

- сухих масс элементов конструкции ОЧ РКН;
- величин остатков компонентов топлива;
- положения центра масс ОЧ РКН;
- аэродинамических коэффициентов ОЧ РКН;
- начальных значений кинематических параметров движения центра масс ОЧ РКН;

- величин и направления дополнительной скорости, сообщаемой ОЧ РКН при отделении;
- начальных условий движения ОЧ РКН вокруг центра масс;
- параметров атмосферы;
- значений составляющих скорости горизонтального ветра;
- характеристик фрагментов ОЧ РКН.

Исходя из совокупности возмущающих факторов и гипотезы о нормальном законе распределения точек падения ОЧ и их фрагментов определяются границы РП, которые и прописываются в баллистической документации на изделия.

Вместе с тем, анализ проведенных пусков РКН «Союз», «Протон», «Зенит» показывает, что имеет место значительный рост размеров эллипсов рассеивания ОЧ РКН по сравнению с характеристиками выделенных районов падения и, соответственно, выходы фрагментов ОЧ РКН за пределы этих районов. Имеющие место случаи выходы ОЧ РКН и их фрагментов за пределы отведенных РП указывают на недостаточную отработку расчетных моделей прогнозирования их движения [2]. Одной из основных причин резкого увеличения размеров РП ОЧ РКН является частичное или полное разрушение отделяющейся части при входе в плотные слои атмосферы. Исключение фактора разрушения из расчетных математических моделей описания движения РКН приводит к несоответствию расчетных характеристик районов падения реальным условиям пусков. Это усугубляется неточностью определения начальных условий движения ОЧ на момент отделения от РКН.

Основные параметры атмосферы – плотность воздуха, температура, давление, ветер – существенным образом влияют на характеристики движения ОЧ РКН. В настоящее время при проведении баллистических расчетов используются значения параметров стандартной атмосферы или соответствующие значения из отраслевых стандартов<sup>2</sup>, которые опираются

1 Федеральный закон «О космической деятельности» от 29.11.1996 г. № 147-ФЗ.

2 Атмосфера стандартная. (Параметры. ГОСТ 4401-81). – М.: Издательство стандартов, 1981. – 180 с.

на среднемесячные статистические данные и имеют свои ограничения по применимости для верхних ступеней ракет-носителей. Поэтому в настоящее время прорабатываются вопросы разработки более точных локальных моделей атмосферы [3]. С другой стороны, повышения точности оценки параметров атмосферы можно добиться, используя данные оперативного зондирования атмосферы в РП ОЧ, которые приближены и по месту, и по времени к реальным условиям пусков.

Адекватность используемых моделей прогнозирования РП ОЧ РКН можно проверить на фактическом материале: статистических данных о точках падения ОЧ РКН. Опыт эксплуатации РП ОЧ РКН показывает, что особые физико-географические характеристики районов падения вторых ступеней РКН «Союз», «Протон» не позволяют использовать методы прямого поиска фрагментов ОЧ РКН для достоверного определения координат их точек падения. Несмотря на привлекаемые силы и средства для поиска фрагментов ОЧ РКН, поисковым группам удается найти не более 50% фрагментов [1]. Выходом в этой ситуации может являться использование измерительной информации о движении фрагментов ОЧ РКН на участке их пассивного полета с последующим прогнозированием точек падения. При этом на участке полета ОЧ не могут быть привлечены технические средства измерительного комплекса космодрома, задействованные на активном участке траектории РКН.

Обобщая вышесказанное, можно выделить следующую совокупность проблемных вопросов баллистического обоснования районов падения ОЧ РКН:

---

ОСТ 92-9704-95. Ракеты и ракеты-носители. Методика определения горизонтальной скорости ветра и термодинамических параметров атмосферы в диапазоне высот 0 – 120 км в районе космодрома «Плесецк», 1995.

ОСТ 92-5165-92. Ракеты и ракеты-носители. Методика задания горизонтальной скорости ветра и термодинамических параметров атмосферы в районе полигона «Байконур» в диапазоне высот 0 – 120 км, 1992.

#### 1. Правовые:

- не дана правовая оценка ранее установленных решениями Совета Министров СССР районов падения (посадки, затопления) ОЧ РКН;

- не зафиксирована в кадастровых планах субъектов РФ территория РП;

- не предусмотрена регламентация порядка учета, оформления и использования земель под РП ОЧ РКН в соответствии с Земельным кодексом РФ;

- не проведены землеустроительные работы в обеспечение фиксации границ районов падения и ограничения доступа населения;

- не разработана технология открытия новых трасс запуска и обоснования системы организационно-технических мероприятий по обеспечению безопасности в районах падения ОЧ РКН;

- интенсификация развития ресурсно-сырьевой базы и других видов хозяйственной деятельности в регионах расположения РП приводит, как правило, к их утрате по целевому использованию и, следовательно, к ликвидации конкретных трасс запусков КА.

#### 2. Научно-методические:

- возможное разрушение ОЧ в полете на фрагменты с неизвестными массовыми и аэродинамическими характеристиками;

- несоответствие расчетных и реальных значений параметров атмосферы и ветра вдоль траектории полета ОЧ РКН;

- неточность определения начальных значений параметров движения ОЧ на момент отделения от РКН;

- отсутствие технических средств контроля параметров движения ОЧ РКН.

Таким образом, с научно-методической точки зрения имеет место противоречие между существующим математическим аппаратом прогнозирования районов падения ОЧ РКН и результатами реальных пусков РКН. Данное противоречие может привести к невыполнению требований безопасности в районах падения ОЧ РКН, увеличению стоимости пус-

ковых услуг вследствие возмещения непреднамеренного ущерба из-за периодических выходов фрагментов ОЧ РКН за пределы выделенных районов падения.

Для решения правовых аспектов проблемы необходимо принятие федерального закона. Решение данного вопроса на государственном уровне возложено на Федеральное космическое агентство (Роскосмос) (поручение Президента Российской Федерации от 13 апреля 2007 года № Пр-619 ГС пункт 9). Принятие соответствующего законопроекта позволит устранить имеющиеся в законодательстве пробелы и противоречия по вопросам создания, использования и ликвидации районов падения космических объектов и будет способствовать сохранению и укреплению космической деятельности в РФ, повысит ответственность федеральных органов исполнительной власти за вопросы, связанные с использованием территорий субъектов РФ.

Развитие фундаментальной науки, измерительной базы и технических средств эксплуатации РП позволяет выделить следующие основные пути для разрешения второй группы вопросов:

- учет возможного разрушения ОЧ РКН на пассивном участке траектории;
- использование при проведении баллистических расчетов локальных моделей параметров атмосферы, соответствующих реальным условиям пусков РКН;
- применение данных оперативного зондирования атмосферы, проводимого непосредственно в районах падения ОЧ РКН;
- уточнение начальных условий движения ОЧ на момент отделения от РКН;
- привлечение измерительной информации на конечном участке полета ОЧ РКН;
- использование опытных данных о фактических точках падения ОЧ РКН по результатам проведенных пусков;
- поиск оптимальных программ управления движением РКН на активном участке траектории.

В работах [1, 2] проводилась оценка условий разрушения и предполагаемого состава

фрагментов ОЧ. Считается, что именно аэродинамический нагрев обечайки корпуса является основной причиной, приводящей к разрушению ОЧ РКН. Предполагается, что во время движения ОЧ РН в плотных слоях атмосферы конструкционный материал, из которого выполнена обечайка корпуса ОЧ, при определенных условиях нагревается до температуры плавления. Применение данной модели разрушения ОЧ РКН не в полной мере решает задачу прогнозирования РП. Целесообразным в этой связи представляется учет и таких существенных факторов, оказывающих значительное влияние на нагружение корпуса ОЧ РКН, как действие сил, определяющих напряженно-деформированное состояние корпуса ОЧ. Это позволит получить более точный диапазон высот, на которых может произойти разрушение корпуса ОЧ, а также прогнозировать массово-габаритные характеристики фрагментов конструкции ОЧ РКН. Тем самым возникает необходимость комплексного подхода, выявления всего спектра условий разрушения ОЧ, оценки влияния разрушения на характеристики РП ОЧ и учет его в моделях движения ОЧ РКН.

Как показывает анализ существующих нормативных документов для учета параметров атмосферы при проектировании ракетно-космической техники и проведении баллистических расчетов, они характеризуются недостаточной точностью в силу их распространения на большие территории и неучета сезонного фактора [3]. Поэтому на определенном этапе потребности практики определили необходимость разработки более точных моделей возмущенной атмосферы. В результате в 90-х годах прошлого века были разработаны локальные модели атмосферы для основных космодромов «Байконур» и «Плесецк», оформленные в виде отраслевых стандартов<sup>1</sup>.

1 ОСТ 92-9704-95. Ракеты и ракеты-носители. Методика определения горизонтальной скорости ветра и термодинамических параметров атмосферы в диапазоне высот 0 – 120 км в районе космодрома «Плесецк», 1995. ОСТ 92-5165-92. Ракеты и ракеты-

В настоящее время данные модели используются при баллистическом обеспечении новых образцов ракетно-космической техники. На основе этих моделей, например, определяются расчетные точки падения ОЧ РКН «Союз-2». Однако они тоже не лишены недостатков, так как применяются за границей области их действия, что не является вполне корректным.

Более целесообразным способом учета метеоусловий в РП ОЧ РКН является построение локальных моделей атмосферы для этих районов. Но и здесь остается вопрос о методической ошибке определения значений метеопараметров, связанной с использованием усредненных среднемесячных данных. Наиболее предпочтительным представляется привлечение оперативных данных зондирования атмосферы, полученных непосредственно в РП ОЧ РКН. Однако реализовать такое решение в настоящее время не удастся в силу отсутствия необходимых средств измерений параметров атмосферы с заданной точностью во всем требуемом диапазоне высот от 0 до 90 км. Аэрологические средства измерений позволяют получить оперативные данные метеопараметров лишь до высоты приблизительно 30 км. Поэтому требуется аппроксимировать полученные данные зондирования на весь рассматриваемый диапазон высот траектории полета ОЧ РКН, для чего необходимо дальнейшее совершенствование математического аппарата для определения значений параметров атмосферы на основе имеющихся оперативных данных зондирования.

Недостаточная отработка расчетных моделей прогнозирования районов падения ОЧ РКН и в то же время необходимость получения достоверных данных о статистических характеристиках точек падения ОЧ требует привлечения дополнительной информации о движении ОЧ. Повышения точности определения координат точек падения ОЧ РКН мож-

---

носители. Методика задания горизонтальной скорости ветра и термодинамических параметров атмосферы в районе полигона «Байконур» в диапазоне высот 0 – 120 км, 1992.

но было бы добиться, используя измерительную информацию непосредственно на участке полета ОЧ. На практике, в большинстве случаев, отсутствует траекторная информация на участке полета ОЧ. Существующие измерительные средства выдают оценки параметров движения РКН лишь на активном участке траектории полета и не могут быть использованы в силу технических причин для измерений параметров движения ОЧ. Например, навигационная аппаратура располагается на третьей ступени РКН и не может быть задействована для оценки движения отработавших первых ступеней РКН. Кроме того, для второй ступени РКН имеет место полное или частичное разрушение конструкции ОЧ. С учетом этого в настоящее время рассматриваются вопросы размещения на конечном участке полета отработавших вторых ступеней и головных обтекателей РКН «Протон», «Союз» различных типов технических средств измерений (радиолокационных, оптических и др.) для получения более полной и достоверной информации о фактических точках падения ОЧ и их фрагментов.

ФГУП «ЦЭНКИ» был спланирован и проведен 24.08.2011 г. эксперимент по использованию малогабаритной радиолокационной станции для определения точек падения второй ступени РКН «Союз» с КА «Прогресс-М12М» №412. По данным радиолокационного слежения центрального блока РКН «Союз» получены значения координат точек падения 7 фрагментов. Последующий облет поисковой группы подтвердил наличие фрагментов вблизи указанных точек. Следовательно, требуется разработка методов уточнения параметров движения ОЧ на основе привлекаемой измерительной информации с целью дальнейшего прогнозирования их точек падения.

Повышения точности прогнозирования РП ОЧ РКН можно добиться в результате статистической обработки опытных данных о точках падения ОЧ РКН по результатам проведенных пусков. Однако объем имеющихся опытных данных весьма ограничен, что объ-

ясняется малым количеством проводимых пусков по конкретной программе, даже с учетом приведения к единым условиям испытаний. Поэтому необходима разработка методов и алгоритмов объединения информации о прогнозируемых точках падения ОЧ РКН в результате обработки измерительной информации и данных о фактических точках падения и получение на этой основе соответствующих апостериорных оценок.

Рассмотренные выше пути совершенствования научно-методического аппарата прогнозирования районов падения ОЧ РКН относятся, главным образом, к движению ОЧ на пассивном участке траектории. Другим принципиальным способом повышения точности прогнозирования районов падения ОЧ РКН представляется применение гибких программ управления ракетами-носителями в полете. Тем самым возникает задача синтеза оптимальных (квазиоптимальных) программ управления движением РКН на активном участке траектории, которые позволят не только сократить область рассеивания точек падения ОЧ РКН, но и уменьшить систематическую составляющую отклонений точек падения относительно расчетных значений.

И здесь можно предложить следующие виды оптимизирующих функционалов для синтеза программ управления [4]:

$$1. J_m = \max_{\bar{u} \in U, \bar{x} \in X, R \leq R^D, R_0 \leq R_0^D} \int_{t_0}^{t_k} \dot{m}(\bar{x}, \bar{u}) dt - \text{максимальный выводимый полезный груз на}$$

орбиту с учетом ограничений на параметры движения  $\bar{x} \in X$  и управление  $\bar{u} \in U$  РКН, а также на допустимые уровни риска для человека и его объектов жизнедеятельности  $R \leq R^D$  и  $R_0 \leq R_0^D$ ;

$$2. J_p = \min_{\bar{u} \in U, \bar{x} \in X, m \geq m^D, R \leq R^D} P(\bar{x}, \bar{u}, \bar{x}^*, Y, \tau) -$$

минимальная вероятность нанесения непреднамеренного ущерба при ограничениях на параметры движения  $\bar{x} \in X$  и управление  $\bar{u} \in U$  РКН, а также на допустимую массу выводимого полезного груза  $m \geq m^D$  и допустимый уровень риска для человека  $R \leq R^D$ ;

$$3. J_c = \min_{\bar{u} \in U, \bar{x} \in X, m \geq m^D, R \leq R^D} \bar{C}_\Sigma(\bar{x}, \bar{u}, \bar{x}^*, Y, \tau) -$$

минимальное значение математического ожидания  $\bar{C}_\Sigma$  стоимости выведения одного килограмма полезного груза с учетом затрат на восстановление вероятного непреднамеренного ущерба при ограничениях на параметры движения  $\bar{x} \in X$  и управление  $\bar{u} \in U$  РКН, а также на допустимую массу выводимого полезного груза  $m \geq m^D$  и допустимый уровень риска для человека  $R \leq R^D$ .

Таким образом, определены основные направления совершенствования научно-методического аппарата прогнозирования районов падения ОЧ РКН, которые позволят разрешить проблемные вопросы баллистического обоснования районов падения и обеспечить гарантированный доступ России в космос с учетом требований безопасности космической деятельности.

#### Список использованных источников

1. Шатров Я.Т. Обеспечение экологической безопасности ракетно-космической деятельности: Учебно-методическое пособие (в 3-х частях). – г. Королев: ЦНИИмаш, 2010.
2. Куреев В.Д. Введение в теорию синтеза траекторий безопасного выведения космических аппаратов на орбиты. – СПб.: ВИКУ, 1999. – 111 с.
3. Разработка локальных моделей возмущенной атмосферы для баллистического обеспечения пусков ракет-носителей. – М.: ЦЭНКИ, 2010. – 67 с.
4. Аверкиев Н.Ф., Булекбаев Д.А. Задача синтеза экономичных трасс запуска космических аппаратов // Вооружение и экономика. – 2012. – № 5 (21). – С. 60–64.