Управление движением и навигация летательных аппаратов

УДК 531.31, 531.37, 004.942

Алексеев И.А., Давыдов И.Е.

К ВОПРОСУ О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПАДЕНИЯ ОТДЕЛЯЮЩИХСЯ ЧАСТЕЙ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ КАК ОСНОВЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАЙОНОВ ПАДЕНИЯ ОТДЕЛЯЮЩИХСЯ ЧАСТЕЙ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ

Космическая деятельность – один из наиболее сложных в реализации видов деятельности общества. Несмотря на более чем семидесятилетнюю историю, космическая деятельность характеризуется постоянными дифференциацией и актуализацией сводов аксиоматических положений, особенно в части обеспечения безопасности этого вида деятельности для персонала, ее осуществляющего, и населения.

Эксплуатация ракетно-космической техники (далее – РКТ) на объектах наземной космической инфраструктуры (далее – НКИ) имеет множество требований в части обеспечения применения ее по назначению, предписанных эксплуатационной документацией, промышленной безопасности, безопасности для персонала, населения и окружающей среды, определенных нормативными документами.

Между тем помимо объектов, расположенных в позиционном районе космодромов, к НКИ относятся кратковременно используемые участки территории, на которых располагаются районы падения (далее – РП) отделяющихся частей (далее – ОЧ) ракет-носителей (далее – РН), и «подтрассовые» территории, которые являются наземными проекциями проходящих над ними траекторий активных участков полета ракет космического назначения (далее – РКН).

Определение размеров РП ОЧ конструкции РН и их минимизация является важной составной частью проектирования ракетно–космических комплексов. При вводе в эксплуатацию нового космодрома «Восточный» (Амурская область) задача сокращения размеров зон падения в последнее время приобрела особую значимость, так как районы рассеивания ОЧ РН имеют значительную площадь, что вызывает трудности согласования их эксплуатации на региональном уровне [1, 2]. Актуальность задачи обусловлена необходимостью рационального выбора проектно-конструкторского решения по уменьшению размеров РП ОЧ конструкции РН в интересах защиты общего экологического состояния и земельных ресурсов, а также минимизации затрат на поиск и эвакуацию

элементов конструкции РН и, как следствие, уменьшения уровня затрат на осуществление конкретных миссий запуска полезного груза.

Локализация (границы) участков РП ОЧ РН и «подтрассовых» территорий на различных наклонениях выведения полезной нагрузки при создании трасс рассчитываются для каждой пусковой установки каждого типа ракеты-носителя космодромов индивидуально с применением дифференцированного математического аппарата [1-4]. При этом без учета местной специфики циркуляции нижних страт атмосферы и их плотностных характеристик, а также прочих условий выведения для обеспечения максимального уровня безопасности эксплуатации расчетно задаются максимально возможные размеры РП ОЧ РН, за пределы которых теоретически попадание ОЧ РН или их фрагментов невозможно. При этом в отдельных случаях из хозяйственного оборота кратковременно выводятся участки единственных для проезда дорог, судоходных русел рек, добычи полезных ископаемых и прочих объектов инфраструктуры.

Между тем, даже на этапе рекогносцировки, определение границ и отвод участка РП ОЧ РН с обязательным снижением рисков их последующей эксплуатации и минимизации планируемых его линейных размеров возможны на основе моделирования и расчета траекторий падения ОЧ РН и их фрагментов с учетом местного комплекса факторов.

В качестве исходных данных для расчета вышеназванных моделей могут быть применены данные эксплуатации трассы запусков КА с космодрома «Восточный» на орбиты с наклонением 98,1° для существующих РП ОЧ РН «Союз-2» этапов 2.1а и 2.1б с применение материалов радарного наблюдения падения ОЧ и их фрагментов.

В рамках научно-исследовательской работы магистранта (далее – НИРМ) планируется теоретическая отработка обеспечения безопасности эксплуатации РП ОЧ РН на основе создания и проверки математических моделей траекторий падения ОЧ РН с определением возможности применения различных вариантов пассивного управления падением.

При этом реализация цели НИРМ возможна при:

1. проведении анализа методологической базы и определении, актуализации и адаптации методов, которые будут применяться для достоверного расчета траекторий падения ОЧ РН с расчетным определением возможности применения различных вариантов пассивного управления падением;

2. определении и адаптации к возможностям и требованиям математического аппарата исходных данных для выполнения НИРМ (данные радарного наблюдения для расчета траекторий падения ОЧ РН и их фрагментов; технические характеристики первой

ступени РН (боковых блоков (далее – ББ)) и второй ступени (центрального блока (далее – ЦБ)) для расчета поправок к базовым данным траекторий падения с учетом условий пусков);

3. проведении анализа возможности применения различных вариантов пассивного управления падением ОЧ РН с применением методов математического моделирования;

4. разработке рекомендаций для обеспечения различных видов безопасности эксплуатации РП ОЧ РН посредством уточнения моделей расчета траекторий падения, координат приземления ОЧ РН, математически обоснованного применения вариантов пассивного управления падением ОЧ РН.

В качестве исходных данных для выполнения НИРМ используются следующие сведения:

Исходя из того, что ЦБ при выключении двигательной установки (далее – ДУ) прекращает свое активное движение и начинает свободное падение в мезосфере, с высоты 62 км, конструкция ЦБ массой 6250 кг с площадью проекции контура конструкции в размере 79,91 м^3 испытывает взаимодействия:

– блок ЦБ целиком с верхней частью стратосферы (плотность воздуха составляет 0,001027 кг/м^3 с ускорением силы тяжести g_e=9,6545 м/с^2) на высоте 50 км;

– фрагменты ЦБ с верхней частью тропосферы (плотность воздуха составляет 0,364 кг/м^3 с ускорением силы тяжести g_e=9.7729 м/с^2) на высоте 11 км;

– фрагменты ЦБ с поверхностью водных объектов (плотность воды варьируется от 998 (пресная вода) до 1030 (морская вода) кг/м^3);

– фрагменты с поверхностью почвогрунтов (плотность почвогрунтов варьируется от 700 (торф) до 3300 кг/м^3 (кремниевые породы).

Исходя из того, что каждый ББ после выключения ДУ прекращает свое активное движение в составе «пакета» и начинает свободное падение в мезосфере с высоты 42 км, конструкция ББ массой 3810 кг (блок целиком) и площадью проекции контура конструкции в 29,2 м^3, испытывает взаимодействие:

– блок с верхней частью тропосферы (плотность воздуха составляет 0,364 кг/м^3 с ускорением силы тяжести g_e=9.7729 м/с^2) на высоте 11 км;

– блок с поверхностью водных объектов (плотность воды варьируется от 998 (пресная вода) до 1030 (морская вода) кг/м^3);

– блок с поверхностью почвогрунтов (плотность почвогрунтов варьируется от 700 (торф) до 3300 кг/м^3 (кремниевые породы).

С учетом вышеизложенного применительно к поставленным задачам будут реализованы направления:

Полной баллистической оценки траекторий падения ОЧ РН с применением метода статистического моделирования, с расчетом поправок на взаимодействие с атмосферой по условиям пусков в летний, зимний и переходные периоды (баллистический расчет траекторий падения ОЧ РН, в том числе с применением «трубки траекторий»; расчёт коэффициентов лобового сопротивления воздуха при взаимодействии с тропопаузой, верхней тропосферой и ЦБ с верхней стратосферой в летний, зимний и переходные периоды; анализ переходных процессов с учетом возмущающих факторов: направление и скорость ветра, динамика барического «рельефа» и плотности тропопаузы, верхней тропосферы и верхней стратосферы, погрешность определения аэро- и газодинамических характеристик; разброс инерционно-центровочных характеристик; разброс тяги двигателей; перекос и смещение векторов тяги двигателей).

Расчета скоростного напора при падении ОЧ РН и его воздействия на лётно-конструкционные характеристики ББ и ЦБ, траектории их падения (полной перегрузки, перегрузки в скоростных осях, вращения по поперечным осям), в том числе исходя из результатов напряжённо-деформируемого состояния конструкции и расчёта тепловых потоков.

Анализа применения различных вариантов пассивного управления свободным движением (падением) ОЧ РН (расчёт при различных показателях времени работы и выключения ДУ ступени; расчёт баллистических характеристик падающих ББ при возможном применения микропарашютных систем; расчёт возможного применения аэродинамических плоскостей управления ББ; расчёт принудительной разгерметизации баков ЦБ).

Уточнения данных радарного наблюдения траекторий падения ББ, ЦБ и фрагментов ЦБ при различных условиях пусков РКН.

Моделирования динамики свободного движения (падения) ОЧ РН и их фрагментов на основе полифакторного анализа с последующим уточнением траекторий падения по возможным вариантам условий пуска.

Библиографический список

1. Алексеев И.А. [и др.] Основы научнотехнологического обеспечения экологической безопасности функционирования объектов наземной космической инфраструктуры и пусков ракет-носителей на космодроме «Восточный [Текст] / И.А. Алексеев, А.В. Пузанов, В.В. Самброс // Приоритетные задачи обеспечения безопасности и

экологического сопровождения пусков РН типа «Союз», направления их реализации. – Барнаул: ИВЭП СО РАН, 2017. – С. 67-76.

2. Дмитриев О.Ю. Обеспечение безопасного функционирования районов падения и безопасности на объектах космодрома «Восточный» с применением комплекса технических средств эксплуатации районов падения и комплекса ликвидации экологических последствий аварийных ситуаций при осуществлении первого пуска РН «Союз-2.1а» [Текст] / О.Ю. Дмитриев, И.П. Ситникова // Приоритетные задачи обеспечения безопасности и экологического сопровождения пусков РН типа «Союз», направления их реализации. – Барнаул: ИВЭП СО РАН, 2017. – С. 48-57.

3. Давыдов, И.Е. Оценка аварийных ситуаций РН на первой ступени полёта [Электронный ресурс]: Интерактивный лабораторный практикум / И. Е. Давыдов, А.А. Панков; М-во образования и науки РФ, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). – Электрон. текстовые и граф. дан. (0,76 Мбайт). – Самара, 2013. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

4. Давыдов И.Е. *Формирование параметров аварийности и характеристик зон падения ракет-носителей "Союз-2", "Союз-СТ" в случае нештатных ситуаций на атмосферном участке полёта* [Текст] / И.Е. Давыдов, В.В. Дмитриев, Е.И. Давыдов // XVII всероссийский семинар по управлению движением и навигации летательных аппаратов (18-20 июня 2014 г.). – 2015. – С. 66-70.