

УДК 629.7

А.Э. КАШАНОВ, А.В. ДЕГТЯРЕВ, Э.Г. ГЛАДКИЙ, Е.Ю. БАРАНОВ

Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля», Украина

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКИХ РИСКОВ ПРИ ПУСКЕ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ «ДНЕПР»

На примере программы «Днепр-Iridium» проведена оценка всех возможных технических рисков проекта «Днепр» с целью сопровождения рисков и управления ими, включая оценку состояния и понижение уровня риска в целях обеспечения безопасности эксплуатации ракетного комплекса и безусловного выполнения проекта в целом. Показано, что технические риски, связанные с базовой РН «Днепр», системами наземного комплекса и технологией подготовки РН отсутствуют. Выполнено планирование реагирования на выявленные технические риски, включающее разработку действий, способствующих снижению угроз для достижения целей проекта.

Ключевые слова: ракетный комплекс, управление проектами, эффективность, технические решения, жизненный цикл, технические риски, полетная безопасность.

Введение

Технические риски для ракет – носителей (РН) по программе «Днепр» – это события, связанные с разработкой (доработкой) конструкции систем и агрегатов космической головной части (КГЧ), РН, систем наземного комплекса (НК), которые возникают в процессе проведения анализов и испытаний, при разработке плана наземных операций и могут привести к невыполнению технических требований проекта, задержке его выполнения, ухудшению технических характеристик изделия.

Постановка задачи

В общем случае риск представляет произведение двух составляющих:

Риск = Последствия риска × Вероятность риска.

Каждый из выявленных технических рисков анализируется с точки зрения двух составляющих [1]. Количественная оценка рисков по категориям последствий и вероятности возникновения проводится с использованием данных табл. 1 и 2.

Общий уровень последствий риска определяется максимальным уровнем последствий по указанным категориям.

Основная часть

Исследование технических рисков на примере проекта «Днепр-Iridium» проведено для следующих

направлений:

- риски, связанные с базовой РН;
- риски, связанные с разработкой КГЧ;
- риски, связанные с баллистическим обеспечением пуска;
- риски в части готовности сооружений и технологического оборудования (ТО) НК к проведению миссии.

Технические риски, связанные с базовой РН «Днепр» и процессом ее наземной эксплуатации минимизированы за счет того, что РН «Днепр» создана на базе штатной ракеты РС-20. Для РН «Днепр» используется штатная технология подготовки к пуску и штатное технологическое оборудование с минимальными доработками. При подготовке к пуску и при пуске будет использоваться ТО технического комплекса (ТК) РН и стартового комплекса (СК), доработанное и прошедшее техническое освидетельствование перед проведением каждого пуска по соответствующей документации.

Методика доработки и перепроверки отработана в рамках предыдущих запусков космических аппаратов по программе «Днепр». Эксплуатация РН «Днепр» на космодроме осуществляется по эксплуатационной документации (ЭД), разработанной на базе ЭД комплекса РС-20. Единственной существующей проблемой, связанной с базовой РН «Днепр», является продление сроков ее эксплуатации после нахождения на боевом дежурстве и длительного хранения.

Таким образом, все основные технические риски проекта «Днепр-Iridium» сопряжены с процессом интеграции КА Iridium в состав РН и их выведения.

Таблица 1

Категории последствий рисков

Качественное определение категории	Номер категории	Качество проекта (технические последствия)	Влияние на план-график разработки проекта
Очень тяжелые последствия	5	Невозможность выполнения проекта. Потеря критически важных функций изделия	Невозможность соблюдения сроков завершения ключевых этапов проекта. Задержка проекта более, чем на 6 месяцев относительно базового план-графика
Тяжелые последствия	4	Значительное ухудшение характеристик изделия (в том числе невозможность соблюдения требований по массе, габаритам и (или) рабочим характеристикам)	Задержки графика выполнения проекта от 4 до 6 месяцев относительно плановых сроков
Последствия средней тяжести	3	Некоторое ухудшение основных технических характеристик изделия. Невыполнение некоторых предпочтительных задач	Задержка сроков разработки проекта от 2 до 4 месяцев относительно плановых сроков
Незначительные последствия	2	Несущественное снижение технических характеристик, неполное достижение некоторых желаемых технических параметров	Незначительная задержка ≤ 1 месяца относительно плановых сроков разработки проекта
Крайне незначительные последствия	1	Едва заметное понижение качества, которое не влияет на характеристики изделия	Незначительные изменения сроков разработки проекта в рамках существующего план-графика разработки

Таблица 2

Категории вероятности риска

Качественное определение категории вероятности	Номер категории	Описание	Эквивалент вероятности
Очень высокая	5	Риск почти неизбежен и не контролируется с помощью существующих процессов, процедур и планов	$> 75\%$
Высокая	4	Риск очень вероятен и не полностью контролируется с помощью существующих процессов, процедур и планов	от 50 до 75%
Средняя	3	Риск возможен, но частично контролируется с помощью существующих процессов, процедур и планов	от 25 до 50%
Низкая	2	Риск маловероятен и в значительной степени контролируется с помощью существующих процессов, процедур и планов	от 10 до 25%
Пренебрежимо малая	1	Риск крайне маловероятен и обычно контролируется с помощью существующих процессов, процедур и планов	$< 10\%$

Результат структурного анализа технических рисков для каждого из указанных выше направлений приведен на рис. 1.

Комплексный анализ принятых технических решений, а также опыт эксплуатации РН «Днепр» позволяют полностью исключить из рассмотрения следующие технические риски:

1. **Обеспечение работоспособности пневмогидросистемы питания (ПГС) второй ступени.** Рулевой двигатель (РД) второй ступени РН «Днепр»

после выключения маршевого работает 60 с и все подсистемы ПГС сохраняют работоспособность, что подтверждается расчетами [2], а также тремя пусками с временем работы РД второй ступени от 15с до 100с.

Обеспечение работы системы измерений.

Для модернизируемых приборов будут проведены следующие виды испытаний: автономные - для каждого прибора, стыковочные и совместные - на комплексном стенде НПП «Хартрон-Аркос» и в ГП



Рис. 1. Структура технических рисков проекта «Днепр-Iridium»

«КБ «Южное», комплексные испытания - на КИС ГП «ПО ЮМЗ».

3. **Обеспечение чистоты КГЧ.** По результатам термодинамических и газодинамических расчетов и анализа состава продуктов сгорания в струе для реализуемого расчетного диапазона температур и давлений не выявлено источников загрязнения поверхности КА конденсированными частицами [3,4]. Механического осаждения компонентов на поверхности КА не ожидается. Прогнозируемое общее загрязнение газообразными продуктами за счет адсорбции газообразных компонентов не превосходит $0,5 \text{ мг/м}^2$.

4. **Процесс изменения давления в зоне КА под обтекателем.** Расчеты показали, что для выбранной схемы дренирования зоны КА скорость спада давления в зоне КА не превысит $0,065 \text{ кгс/(см}^2 \cdot \text{с)}$ при ограничении $0,085 \text{ кгс/(см}^2 \cdot \text{с)}$. Эти результаты согласуются с данными трех пусков РН «Днепр» с аналогичной схемой дренирования.

5. **Обеспечение прочности РН в полете.** Полученные в результате проведенных расчетов на прочность и устойчивость узлов и отсеков РН «Днепр» коэффициенты запаса прочности больше единицы подтверждаются результатами испытаний. Влияние длительного хранения РН «Днепр» на прочность подтверждена экспериментально для отсеков после различных сроков нахождения их в штатной эксплуатации.

6. **Обеспечение прочности КГЧ.** Полученные в результате проведенных расчетов на прочность и устойчивость элементов КГЧ РН «Днепр» коэффициенты запаса прочности больше единицы. Предусмотрены комплексные статические испытания КГЧ на определяющие расчетные случаи [5], кроме того для подтверждения расчетных значений динамических характеристик КГЧ предусмотрены динамические испытания.

7. **Обеспечение полетной надежности.** Проводимые доработки базовой ракеты РС-20 не снизят достигнутого уровня полетной надежности РН

«Днепр» равного 0,9762.

8. **Обеспечение полетной безопасности.** Для выведения КА Iridium предполагается использовать новую трассу запуска, которая проходит по малозаселенным территориям России, США, Канады. Безопасность на этапе выведения КА обеспечивается за счет:

- высокой надежности базовой РН;
- падения отделяемой первой и второй ступеней, а также створок головного обтекателя в специально выделенные районы;
- использованием на борту РН специальной системы безопасности, которая прошла полный цикл наземной отработки и успешно эксплуатируется с 2006 года.

Высокую опасность для наземных объектов в случае возникновения аварийных ситуаций на борту РН представляет этап полета первой ступени. Риски падения на территорию населенных пунктов по трассе полета не превышают величины $3,5 \cdot 10^{-5}$, а в основном ниже уровня величины 10^{-6} .

9. **Баллистическое обеспечения.** Падение отделяющихся частей РН в выделенные районы с заданными размерами полуосей эллипса рассеивания обеспечивается с вероятностью 0,993. Статистические данные по точкам падения отделяющейся части первой ступени подтверждают, что рассеивание точек падения значительно меньше расчетного.

Анализ отсутствия столкновений объектов отделившихся от РН проводится путем расчета относительных расстояний между ближайшими парами объектов, при орбитальном движении, с учетом факторов реализующих предельные минимальные расстояния. Результаты расчетов показывают гарантированную невозможность соударений [6].

Основные, системно выявленные, технические риски проекта «Днепр-Iridium», по которым выполнено планирование реагирования, включающее разработку действий, способствующих снижению их угроз, для достижения целей проекта приведены в табл. 3.

Таблица 3

Основные технические риски

№ п/п	Описание риска и возможных последствий	Причина возникновения риска	Вероятность риска	Категория риска	Действия по снижению риска
1	2	3	4	5	6
1	Отсутствие данных о работоспособности и техническом состоянии узлов, агрегатов и систем РН в связи с продлением сроков ее эксплуатации.	Отсутствие результатов исследований работоспособности и технического состояния узлов, агрегатов и систем ракеты.	Высокая (4)	Высокая (4)	Проведение исследований элементов ракеты, ускоренных климатических испытаний, ресурсных испытаний элементов, прочностные испытания отсеков, испытаний аппаратуры, гидроприводов, агрегатов автоматики и других изделий, огневых испытаний двигателей, пиротехнических средств

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6
2	Обеспечение схода платформы по направляющим. Частичный сход или отсутствие схода может привести к невыполнению задачи пуска.	Применение нового технического решения.	Средняя (3)	Средняя (3)	Проектирование и разработка должна проводиться с учетом опыта использования подобных решений, применяющихся ранее. Требуется проведение полной наземной отработки данного решения.
3	Обеспечение работоспособности системы приводов. Несрабатывание механизма раскрытия приводов или срабатывание, но не в пределах заданных параметров, может привести к невыполнению задачи пуска	Применение нового технического решения.	Средняя (3)	Средняя (3)	Проектирование приводов отклонения диспенсеров должно проводиться с максимальным использованием серийно выпускаемых элементов. Требуется проведение автономной и комплексной наземной экспериментальной отработки вновь разрабатываемых элементов в составе КГЧ
4	Сопряжение системы управления (СУ) КГЧ со вновь вводимой системой приводов разворота диспенсеров.	Аппаратура СУ КГЧ не имеет в циклограмме работ команд с характеристиками, необходимыми для системы разворота диспенсеров.	Низкая (2)	Средняя (3)	Разработка нового прибора с проведением в полном объеме автономных лабораторных отработочных, совместных отработочных и комплексных испытаний. Надежность и методика отработки дорабатываемой СУ подтверждена 17 пусками в рамках программы «Днепр».
5	Разгонная ступень после отделения КА находится на орбите в одной плоскости с группировкой КА «Iridium». Возможно засорение космического пространства	Программно-математическое обеспечение для реализации алгоритма увода в СУ РН создается впервые. Требуется изменение констант полетного задания.	Низкая (2)	Средняя (3)	Отработка разработанного программно-алгоритмического обеспечения СУ и полетного задания методом «электронного» пуска на исследовательском стенде, проверка реализуемости полета на комплексном стенде.
6	Превышение уровней излучений передатчиков РН помехоустойчивости КА, заданной его разработчиком. Возможно повреждение КА.	Отсутствие в окончательной редакции требований к электромагнитной совместимости КА/РН со стороны Заказчика	Низкая (2)	Низкая (2)	1. Уточнение и согласование с Заказчиком требований к помехоустойчивости КА. 2. Проверка разработчиком помехоустойчивости КА в диапазонах рабочих частот передатчиков РН. 3. Возможна доработка КГЧ для снижения влияния излучений передатчиков РН до допустимого уровня.
7	Превышение допустимых значений тепловых потоков на КА вследствие воздействия струи двигателей РС. Возможно повреждение КА	На РС РН «Днепр» используется «глящая» схема выведения КА	Средняя (3)	Средняя (3)	В состав КГЧ включены специальные защитные экраны, которые минимизируют воздействие струи на космические аппараты. Необходимо проведение дополнительного теплового анализа с возможной доработкой КГЧ
8	Дооснащение пусковой базы новым технологическим оборудованием (ТО), разработанным для обеспечения миссии, в недостаточном объеме	Несвоевременное получение исходных данных по ТО или их недостоверность. Возможна доработка КД на КГЧ в ходе отработки и неувязки интерфейсов КА и КГЧ с ТО	Низкая (2)	Низкая (2)	Снижение рисков достигается: – получением ИД в полном объеме; – выполнением сроков разработки, изготовления и поставки ТО; – взаимным согласованием интерфейсов; – проведением макетирования в ходе НЭО; – проведением примерочных испытаний с использованием макетов КА и штатных КГЧ и РН.

Заключение

В результате комплексного системного анализа на примере программы «Днепр-Iridium» проведена оценка всех возможных технических рисков проекта «Днепр» с целью сопровождения рисков и управле-

ния ими, включая оценку состояния и понижение уровня риска.

В данной статье:

– показано, что технические риски, связанные с базовой РН «Днепр», системами наземного комплекса и технологией подготовки РН отсутствуют;

– выявлены основные типичные для программы «Днепр» технические риски, которые могут повлиять на выполнение проекта в целом;

– проведен качественный анализ потенциального влияния идентифицированных технических рисков на общие цели проекта, в том числе ранжирование рисков по степени их приоритета;

– выполнено планирование реагирования на выявленные технические риски, включающее разработку действий, способствующих снижению угроз для достижения целей проекта.

Совокупность запланированных расчетных и экспериментальных действий по снижению технических рисков позволяет сделать заключение об эффективном управлении этими рисками в целях обеспечения безопасности эксплуатации ракетного комплекса и безусловного выполнения проекта в целом.

Литература

1. Сמיד, Хенк Х.Ф. *Качественное управление рисками в космической деятельности. Ч.1 Достоверный метод анализа рисков [Текст]* / Хенк Х.Ф. Сמיד // *Космическая техника. Ракетное вооружение: науч.-*

техн. сб. – 2012. – Вып.1. – Днепропетровск: ГП «КБ «Южное». – С. 277 - 289.

2. *Определение границы работоспособности ПГСР второй ступени при увеличенном времени работы РД [Текст]: Технический отчет. Днепр 21.16234.123 ОТ / Шевцов Е.И., Волошин М.Л. и др. - Днепропетровск: ГКБ «Южное», 2009. - 168 с.*

3. *Программа Днепр. Анализ чистоты поверхности КА Iridium: Технический отчет. DRI YZH ANL 008 00 / ГКБ «Южное»; Бунчук Ю.П., Скрипалева Е.В. - Днепропетровск, 2012. - 15 с.*

4. *Программа Днепр. План контроля чистоты поверхности КА Iridium [Текст]: Технический отчет. DRI YZH PLN 008 00 / Бунчук Ю.П., Скрипалева Е.В. - Днепропетровск: ГКБ «Южное», 2012. - 15 с.*

5. *Программа Днепр. План комплексных испытаний КГЧ с КА Iridium [Текст]: Технический отчет. DRI YZH PLN 006 00 / Баранов Е.Ю., Кашанов А.Э., Далецкий С.В. и др. - Днепропетровск: ГКБ «Южное», 2012. - 25 с.*

6. *Программа Днепр. Анализ предотвращения столкновений при отделении КА Iridium [Текст]: Технический отчет. DRI YZH ANL 007 00 / Ижко В.А., Резник И.М., Емельянова И.А. - Днепропетровск: ГКБ «Южное», 2012. - 25 с.*

Поступила в редакцию 25.06.2012

Рецензент: д-р техн. наук, главный научный сотрудник В.С. Шеховцов, Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля», Днепропетровск

ОЦІНКА ТЕХНІЧНИХ РИЗИКІВ ПІД ЧАС ПУСКУ РАКЕТИ-НОСІЯ «ДНІПРО»

О.Е. Кашанов, О.В. Дегтярев, Е.Г. Гладкий, Е.Ю. Баранов

На прикладі програми «Дніпро-Iridium» проведено оцінку усіх можливих технічних ризиків проекту «Дніпро» з метою супроводження ризиків та управління ними, включаючи оцінку стану і зниження рівня ризику з метою забезпечення безпеки експлуатації ракетного комплексу і безумовного виконання проекту в цілому. Показано, що технічні ризики, пов'язані з базовою РН «Дніпро», системами наземного комплексу та технологією підготовки РН, відсутні. Виконано планування реагування на виявлені технічні ризики, які включають дії, що сприяють зниженню загроз для досягнення цілей проекту.

Ключові слова: ракетний комплекс, управління проектами, ефективність, технічні рішення, життєвий цикл, технічні ризики, польотна безпека

THE ASSESSMENT OF TECHNICAL RISKS DURING DNEPR LV LAUNCH

O.E. Kashanov, O.V. Degtyarev, E.G. Gladkiy, E.Y. Baranov

By the example of Dnepr-Iridium program the assessment of all possible technical risks of Dnepr project is performed for the purpose of risks management and tracking including assessment of risk state and risk level lowering in order to provide SLS operation security and unconditional execution of the project in whole. It is shown that the technical risk related to base Dnepr LV, ground complex systems and LV preparation technology are absent. The planning of response to detected technical risks including actions development promoting abatement of threats for project goals achievement is performed.

Key words: Space Launch System, projects management, effectivity, engineering decisions, life cycle, technical risks, flight safety.

Кашанов Александр Эрикович – канд. техн. наук, начальник проектного отдела, Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное», Днепропетровск, Украина, e-mail: info@yuzhnoye.com.

Дегтярев Александр Викторович – канд. эконом. наук, Генеральный конструктор – Генеральный директор, Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное», Днепропетровск, Украина, e-mail: info@yuzhnoye.com.

Гладкий Эдуард Григорьевич – канд. техн. наук, начальник сектора проектного отдела, Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное», Днепропетровск, Украина, e-mail: info@yuzhnoye.com.

Баранов Евгений Юрьевич – начальник проектного комплекса, Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное», Днепропетровск, Украина, e-mail: info@yuzhnoye.com.