

Regression and correlation analysis of service in the area of rocket and space engineering

Orlov A.¹, Andreev E.²

Корреляционно-регрессионный анализ эксплуатации ракетно-космической техники

Орлов А. С.¹, Андреев Е. А.²

¹Орлов Алексей Сергеевич / Orlov Alexey Sergeevich – кандидат технических наук, преподаватель;

²Андреев Евгений Александрович / Andreev Evgeniy Alexandrovich – преподаватель, кафедра организации эксплуатации и технического обеспечения вооружения и военной техники, Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург

Аннотация: в статье выполнен анализ летной эксплуатации ракетно-космической техники и тенденций изменения рисков аварий из-за отказов различных составляющих РН и КА. Определён комплекс мер по обеспечению безотказной эксплуатации ракетно-космической техники.

Ключевые слова: ракетно-космическая техника, ракето-носитель, космический корабль, летная эксплуатация, аварийный отказ, риски.

Трудно переоценить значение и роль, которую играет ракетно-космическая техника в настоящее время. Это решение задач обеспечения обороноспособности страны, различных видов связи и телевидения, обеспечение навигации (система ГЛОНАСС), исследования и эксперименты в самых различных отраслях науки, мониторинг климата Земли, метеорология, обеспечения мониторинга опасных ситуаций – пожаров, наводнений и иных стихийных бедствий, использование информации со спутников в самых различных отраслях экономики и множество других сфер.

С увеличением числа и сложности решаемых задач возрастает и сложность выводимых на орбиту космических аппаратов, а, следовательно, растет и их стоимость, а также увеличивается, собственно, число запусков РКН.

Таким образом, возрастает значение, во-первых, обеспечения безаварийной эксплуатации ракетно-космической техники (РКТ) в пределах гарантийного периода, а, во-вторых – ее эксплуатации за пределами указанного периода, так как это позволяет экономить значительные средства, которые в противном случае требуются для запуска нового аппарата взамен вышедшего из строя.

При этом следует обратить внимание на тот факт, что к большинству космических аппаратов (КА) и ко всем ракето-носителям (РН) невозможно применение тех. обслуживания и ремонта в период летной эксплуатации, исключение составляют только орбитальные станции. Это делает возможным обеспечение их безаварийной летной эксплуатации только путем тщательного соблюдения требований к качеству при изготовлении деталей, узлов и агрегатов, проведении сборочно-монтажных работ и выполнения большого объема предварительных испытаний, а также процедур наземной эксплуатации, позволяющих выявить и предотвратить дефекты до начала летной эксплуатации.

Анализ летной эксплуатации ракетно-космической техники и тенденций изменения рисков аварий из-за отказов различных составляющих РН и КА

Рассмотрим случаи отказов для выявления наиболее частых причин аварий РКТ.

Как показывает изучение статистики аварий РКТ за 40 лет, с 1961 г. по 2000 г. включительно [3], до середины 70-х гг. риск аварий ракето-носителей более чем в 2 раза превышал риск аварий космических кораблей. Затем произошло выравнивание значений этих рисков, а со второй половины 90-х гг. риски аварий КА превзошли риски аварий РН. Таким образом, можно констатировать, что в настоящее время наибольшее количество рисков несет в себе не доставка КА на орбиту, а обеспечение его безотказной работы в течение запланированного срока эксплуатации.

В таблице 1 отражены количество и процентное соотношения отказов, приведших к авариям РН и КА с временным промежутком длительностью 10 лет. Отдельно выделен ряд причин отказов, общих для РН и КА.

Таблица 1. Причины отказов РКТ

Причины аварий	60-е гг.		70-е гг.		80-е гг.		90-е гг.	
	кол-во	%	кол-во	%	кол-во	%	кол-во	%
Отказы и взрывы ступеней ракетноносителя (РН)	136	79	60	66	38	90	31	29
Отказы космических аппаратов	9	5	9	10	0	0	0	0

(КА)								
Отказы двигательных установок (ДУ)	6	3	5	5	1	2,5	10	10
Отказы радиоаппаратуры (РА)	2	1	2	2	1	2,5	7	7
Отказы разгонных блоков (РБ)	3	2	1	1	1	2,5	6	6
Отказы систем электропитания и кабельных сетей (СЭП)	2	1	1	1	0	0	9	9
Отказы системы управления (СУ)	16	9	14	15	1	2,5	24	23
Отказы аппаратных средств бортовых компьютеров (АС)	0	0	0	0	0	0	6	6
Отказы программных средств бортовых компьютеров (ПС)	0	0	0	0	0	0	10	10
Всего	174	-	92	-	42	-	103	-

Риски аварий из-за отказов различных агрегатов РКТ, показывающие положение дел в настоящее время, приведены в таблице 2. При этом учтено, что в 90-х гг. было осуществлено 816 успешных пусков, и произошло 44 аварии РН.

Таблица 2. Риски аварий из-за отказов составляющих РКТ на основе статистики за 90-е гг. (в пересчете на один пуск РН)

Причина аварии	Кол-во отказов	Риск аварии
Отказы и взрывы ступеней ракетносителя (РН)	31	0,036
Отказы двигательных установок (ДУ)	10	0,012
Отказы радиоаппаратуры (РА)	7	0,08
Отказы разгонных блоков (РБ) 6 0,007	6	0,007
Отказы систем электропитания и кабельных сетей (СЭП)	9	0,01
Отказы системы управления (СУ)	24	0,028
Отказы аппаратных средств бортовых компьютеров (АС)	6	0,007
Отказы программных средств бортовых компьютеров (ПС)	10	0,012

Как показывает анализ, наиболее подвержены аварийным отказам ступени РН, на втором месте стоят отказы системы управления.

При этом подавляющее число запусков осуществляется на уже давно отработанных ракетно-носителях – «Союз», «Протон», «Рокот» и их модификациях, то есть, конструктивные недостатки, могущие носить критический характер, давно выявлены и устранены. Таким образом, основной причиной аварий ступеней ракетносителя является человеческий фактор – ошибки при монтаже, сборке, наземной эксплуатации. Особенно остро он встал в настоящее время, когда в отрасли наметился системный кадровый кризис.

Нынешний этап развития РКТ и увеличение роли компьютерной техники в бортовых системах управления приводит соответственно и к возникновению новых рисков отказов. Как показывает статистика, отказы программных средств (ПС) бортовых компьютеров вместе с отказами двигательных установок в настоящее время делят 3-4 место среди всех причин отказов.

В среднем из-за отказов ПС аварийным оказывается каждый 100-й пуск (примерно раз в год), при этом следует отметить, что аппаратные средства (АС) отказывают почти в два раза реже, чем ПС.

При этом, как показывает практика, конструкция современных КА при соблюдении всех нормативов на их изготовление, сборку и наземную эксплуатацию позволяет осуществлять летную эксплуатацию далеко за пределами гарантийного срока.

Так, орбитальная станция «Салют-7» при назначенном сроке эксплуатации в 5 лет эксплуатировалась 9 (1982 – 1991 гг); орбитальная станция «Мир» при назначенном сроке эксплуатации в 5 лет эксплуатировалась 15 (1986 – 2001 гг). Конечно, орбитальные станции в силу своей специфики позволяют проводить на них определённые ремонтные работы, однако есть примеры эксплуатации за пределами гарантийного срока и других КА – так, «Пионер – 6» запущен в 1965 г., а последний сеанс связи с ним был осуществлен в 2000г., связь с «Пионером – 10», стартовавшим в апреле 1973 года, поддерживалась до января 2003.

Предлагаемые меры по повышению надежности и обеспечению безаварийной эксплуатации ракетно-космической техники

На основании выполненного анализа причин аварий можно констатировать, что для обеспечения летной эксплуатации ракетно-космической техники, в том числе за пределами гарантийного срока, необходимо, в первую очередь, уменьшить риск отказов ступеней ракетносителя, систем управления,

аппаратных средств бортовых компьютеров и программных средств бортовых компьютеров (ПС), для чего предлагается следующий комплекс мер:

1. Повышение надежности и качества изготовления, сборки, монтажа и операций наземной эксплуатации ракетно-носителей. Для этого требуется:

- ужесточить операции контроля при изготовлении компонентов и сборочных операциях;
- внедрять новые методы контроля и диагностики, позволяющие выявлять скрытые дефекты;
- восстановить в полном объеме военную приемку при изготовлении всех компонентов ракетноносителей и их агрегатов.

2. Проводить разработку методов и средств повышения надежности и безопасности СУ и бортовых компьютеров на основе внедрения отказоустойчивых проектных решений [8].

3. Осуществлять снижение влияния дефектов ПС на отказы РКТ путем создания и использования инструментальных систем поддержки экспертизы и верификации, внедрения многоверсионных технологий.

Заключение

В статье нами были проанализированы причины аварий РКТ, влияющие на летную эксплуатацию и определены степени риска, который позволил выявить основные причины аварийных отказов, ведущих к прекращению летной эксплуатации РКТ. Это аварийные отказы ступеней РН и отказы системы управления, также наметилась тенденция постоянного роста числа отказов программных средств (ПС) бортовых компьютеров.

Для уменьшения числа данных отказов, а следовательно, обеспечения и увеличения сроков летной эксплуатации, необходимо выполнить комплекс мер, от повышения качества изготовления, сборочно-монтажных и наземно-эксплуатационных работ и до разработки методов и средств повышения надежности и безопасности СУ и бортовых компьютеров, а также внедрения многоверсионных технологий для ПС.

Литература

1. *Лабенский В. Б.* Применение корреляционно-регрессионного анализа при планировании работ в ракетно-космической отрасли. // Проблемы управления и информатики. – 2001. – № 4. – С. 101-110.
2. *Железняков А. Б.* Взлетая, падала ракета... - СПб: «Система», 2003, 220с.
3. *Згуровский М. З. и др.* Информационный подход к анализу и управлению проектными рисками. // Проблемы управления и информатики. – 2000. – № 4. – С. 148-156.
4. *Харченко В. С.* Выбор технологий проектирования и базовых архитектур для дефектоустойчивых управляющих и вычислительных систем реального времени. // Космічна наука і технологія. – 1997. – Т. 3. – № 5-6. – С. 109-119.
5. ГОСТ 16504–81. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения.
6. *Северцев А. А.* Надежность сложных систем в эксплуатации и отработке. / А. А. Северцев; М.: Высшая школа, 1989. - 431 с., 2. ГОСТ 16504–81. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения.
7. *Александровская Л. Н.* Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем: учебник. / Л. Н. Александровская, А. П. Афанасьев, А. А. Лисов. М.: Логос, 2003. 208 с.