

УДК 62-192.001

А.В. ГОРБЕНКО<sup>1</sup>, С.А. ЗАСУХА<sup>2</sup>, В.И. РУБАН<sup>1</sup>, О.М. ТАРАСЮК<sup>1</sup>, В.С. ХАРЧЕНКО<sup>1</sup><sup>1</sup> *Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*<sup>2</sup> *Национальное космическое агентство Украины, Киев*

## БЕЗОПАСНОСТЬ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ И НАДЕЖНОСТЬ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ: 2000-2009 ГГ.

*Представлена статистика запусков ракетносителей и космических аппаратов в 2000-2009 гг., а также проведен анализ рисков, возникающих при использовании ракетно-космической техники вследствие отказов оборудования и различных системных компонентов. Представлены результаты оценки рисков аварий для ракетносителей и космических аппаратов за последние десять лет и сравнения рисков и причин аварий за 1990-е и 2000-е годы. Дана оценка влияния отказов компьютерных систем управления, их аппаратных и программных средств на риски возникновения аварий ракетно-космической техники.*

**Ключевые слова:** *безопасность ракетно-космической техники, риски аварий ракетносителей и космических аппаратов, надежность компьютерных систем, дефекты программных средств.*

### Введение

#### Мотивация: проблема безопасности ракетно-космической техники

За последнее десятилетие ракетно-космическая отрасль стала одним из важнейших и динамично развивающихся секторов мировой экономики. Ее обороты давно перешагнули миллиардные отметки благодаря коммерциализации космических проектов, прежде всего, предоставлению телекоммуникационных услуг, многоцелевому мониторингу и др. Как и в прежние годы, наличие и развитость аэрокосмической отрасли является важной составляющей авторитета государства в мировом сообществе. Успехи в этой области возможны только в условиях обеспечения высокой надежности и безопасности ракетно-космических систем. Этот фактор, особенно в условиях преобладания коммерческого вектора развития отрасли, играет все большее экономическое значение, поскольку аварии и любые нештатные ситуации приводят не только к неполучению или недополучению прибыли, но и к убыткам, измеряемым десятками и сотнями миллионов долларов. Космические проекты, как правило, относятся к так называемым mission critical applications, т.е. к приложениям, неудача в реализации которых приводит как к материальным потерям (а подчас, к сожалению, и к человеческим жертвам), так и к срыву многолетних научных, оборонных и иных важных государственных или коммерческих программ. Примером такого рода является авария, произошедшая 5 декабря 2010 года, когда с космодрома Байконур состоялся запуск ракетносителя (РН) «Протон-М» с 3 навигационными космическими аппаратами

(КА) «Глонасс-М». Через 10 минут после старта произошло отделение орбитального блока от третьей ступени ракетносителя. После этого, ракета вышла на нерасчетную орбиту и упала в Тихий океан. Ущерб от аварии и потери 3 навигационных спутников «Глонасс-М» составляет несколько миллиардов рублей. В результате аварии окончательное формирование орбитальной группировки ГЛОНАСС отодвинуто на неопределенный срок. Всего в системе ГЛОНАСС с выведением этих трех спутников должны были заработать 24 спутника – по 8 космических аппаратов в трех плоскостях. Авария произошла из-за превышения уровня заправки топливом разгонного блока [1].

Этот и многие другие примеры позволяют сделать вывод о том, что положение дел в области надежности и безопасности ракетно-космической техники оставляет желать лучшего и требует постоянного анализа и принятия решений, направленных на снижение рисков аварий.

### Обзор литературы

За полвека космической эры накоплена обширная информация об отказах, авариях и катастрофах. Данные за первые сорок лет (1960 – 1990-е годы) были собраны в вербальной форме в работе А.Б. Железнякова [2] и других авторов. Их систематизация и статистическая обработка выполнена в [3].

В работах [3, 4] проанализированы причины аварий вследствие отказов различных средств и систем ракетно-космической техники (РКТ), при этом основное внимание уделено влиянию надежности компьютерных систем, их аппаратных и программных средств. Отмечалась возрастающая зависимость

ракетно-космических комплексов от характеристик компьютерных систем управления и, прежде всего, программных средств, их растущего влияния на безопасность. По результатам анализа рисков аварий за 40 лет с 1960 по 2000 гг. [3] каждый сотый пуск завершался аварией вследствие дефектов программных средств, а 6 из 7 отказов компьютерных систем РКТ были обусловлены такими дефектами.

Следует отметить, что доля программно реализуемых и поддерживаемых функций в авиационных и ракетно-космических комплексах, постоянно возрастает. По данным, опубликованным Министерством обороны США еще десять лет назад [5], доля программно выполняемых функций боевого самолета возросла с 8% для F-4 в 1960-е годы до 80% для F-22 в 2000 г. Для систем РН и КА характерны схожие тенденции. Это особенно важно учитывать потому, что программные средства являются одним из наиболее вероятных источников отказов даже при использовании традиционных методов резервирования (дублирования, мажоритирования, временной избыточности и др.). Парирование отказов, вызываемых дефектами программных средств, возможно только путем применения многоверсионных технологий разработки или введения механизмов оперативной коррекции в полете [6].

### Цель и структура работы

Целью данной статьи является анализ рисков аварий РКТ, произошедших в первом десятилетии 21-го века, вследствие отказов оборудования РН и КА, их компьютерных систем, аппаратных и программных средств. Данная статья продолжает исследований, результаты которых были опубликованы в [3, 4] и таким образом позволяет получить полную картину за пятьдесят лет космической эры.

Статья имеет следующую структуру:

- в первом разделе анализируются источники исходной информации, принципы ее обработки и формулируется методология исследований;

- во втором разделе проводится анализ пусков по видам РН и странам;

- анализ рисков аварий РН и КА выполнен в третьем и четвертом разделах соответственно; в этих разделах сравниваются риски аварий в 1990-е и 2000-е годы;

- в пятом разделе анализируются причины аварий вследствие отказов различных систем, в том числе и компьютерных компонент;

- шестой раздел посвящен анализу инцидентов, имевших место на международной космической станции вследствие отказов компьютерных систем;

- общие выводы формулируются в последнем разделе.

## 1. Задачи и методология исследований

### 1.1. Исходная информация и задачи исследований

Как и в предыдущих работах для анализа использовались различные источники информации. Однако, в [3, 4] большая часть информации об авариях была собрана в работе А.Б. Железнякова [2] и лишь дополнялась из других источников. В данной работе такого базового источника информации не было. При подготовке материалов использовались доступные авторам открытые источники: публикации в периодических изданиях, сообщения информационных агентств, тематические Web-сайты и рубрики, прежде всего:

- [www.planet4589.org/space/jsr/jsr.html](http://www.planet4589.org/space/jsr/jsr.html);
- [www.astronautix.com/](http://www.astronautix.com/);
- [www.cosmoworld.ru/spaceencyclopedia/](http://www.cosmoworld.ru/spaceencyclopedia/);
- [www.insur-info.ru/aerospace-insurance/](http://www.insur-info.ru/aerospace-insurance/);
- [www.novosti-kosmonavтики.ru/](http://www.novosti-kosmonavтики.ru/);
- [news.cosmoport.com/200\\*/01/](http://news.cosmoport.com/200*/01/);
- [astro.websib.ru/kosm/sprav/itog/i\\_200\\*.htm](http://astro.websib.ru/kosm/sprav/itog/i_200*.htm);
- [en.wikipedia.org/wiki/200\\*\\_in\\_spaceflight](http://en.wikipedia.org/wiki/200*_in_spaceflight) и др.

По каждому из исходных событий уточнялись дата, вид аварии или иной нештатной ситуации, тип ракетносителя и космического аппарата, страна, причина события – компонент и вид отказа.

Исследование проводилось по следующим направлениям:

- анализ рисков аварий РН;
- анализ рисков аварий КА;
- анализ тенденций изменения рисков аварий вследствие отказов различных составляющих РН и КА, в том числе аппаратных и программных средств бортовых и наземных компьютерных систем.

### 1.2. Ограничения и принципы проведения исследований

В работе собраны и исследованы статистические данные об авариях ракетно-космической техники за последние 10 лет, с 2000 г. по 2009 г. включительно. При проведении исследования не рассматривались данные по отказам и авариям баллистических и крылатых ракет военного назначения.

Необходимо подчеркнуть, что ни один из указанных выше и других доступных источников не давал систематизированную выборку об аварийных ситуациях. До сих пор нет полных и достоверных данных о всех катастрофах. Это потребовало принятия дополнительных мер по обеспечению достоверности исходной информации. В частности, реализовывался принцип перекрестной верификации данных, когда осуществлялась выборочная сверка данных о событиях из разных источников.

При преобразовании вербальных данных в вектор <Дата события, Критичность события, РН/КА, Причина события> наибольшие проблемы имели место при определении причины аварийной или иной нештатной ситуации. В этом случае применялся принцип множественного анализа, когда учитывались не только данные от разных источников, а и мнение экспертов. Следует подчеркнуть, что по статистике пусков и отказов РН информация достаточно упорядочена и существует несколько авторитетных диверсных источников для её проверки, в то же время информация по отказам космических аппаратов является разрозненной. Представленные в статье данные по отказам и авариям КА были получены на основе анализа разнородных по форме источников информации. Авторы не претендуют на 100-процентную полную собранную статистику, которая, тем не менее, может быть использована для получения оптимистических оценок рисков отказов и аварий КА.

Методология исследований базируется на системном анализе рисков аварий и катастроф по разным классификационным признакам и представлении результатов в виде диаграмм и трендов. Однако в рамках данной работы не представлены результаты более детального статистического анализа, который может базироваться на методах [7, 8]. Кроме того, в статье не проводилась детальная классификация аварий в соответствии со стандартами ECSS, NASA в силу ограниченного объема работы и недостатка информации.

## 2. Анализ пусков ракетносителей

Данные о количестве пусков ракетносителей по странам-изготовителям приведены в табл. 1. В ней учтены пуски, зарегистрированные Комиссией ООН по исследованию и использованию космического пространства (COSPAR) и Космическим командованием США (NORAD).

Наибольшее количество пусков РН традиционно приходится на долю России и США. Украина входит в пятерку лидеров после Европейского союза и Китая. Тем не менее, общее количество запусков РН за последнее десятилетие сократилось более чем на 25% по сравнению с 1990-1999 гг. (663 против 891 [3]). На 30% сократилось количество РН производства России, Украина и США, на 22% – Европейского союза. Вместе с тем следует отметить положительную динамику запусков РН для Японии (в 1,5 раз), Китая (в 1,7 раз) и Индии (в 2,6 раз).

Пуски РН производства Бразилии, Ирана, Израиля, Северной и Южной Кореи из-за их незначительного вклада объединены вместе в табл. 1 в графе «Другие страны».

В качестве особенностей пусков РН отечественного производства следует отметить, что Украина не имеет своих космодромов, поэтому вынуждена запускать свои ракетносители с космодромов других стран.

Украина производит запуски своих ракетносителей «Зенит-3SL» в рамках международного проекта «Морской старт» (32 запуска в течение 2000-2009 гг.), а также «Зенит-3SLB», «Днепр» и «Циклон-3» с космодромов Российской Федерации в рамках проектов «Наземный старт», «Космотрас» (23 запуска в течение 2000-2009 гг.).

В 2009 году был осуществлен успешный запуск последнего РН «Циклон-3» с космодрома Плесецк. Данный РН эксплуатировался с 1969 г. Всего было проведено 122 запуска, из них 7 завершились нештатно. В [9] отмечается, что РН серии «Циклон» являются одними из высоконадежных (94,3% успешных пусков) и по этому показателю превосходят РН «Ариане», «Дельта», «Протон».

Первый запуск РН «Циклон-4» четвертого поколения с бразильского космодрома в рамках совместного Украина-Бразильского проекта «Алкантара Циклон Спейс» запланирован на 2012 г.

Последнее десятилетие является переходным и для других РН. Кроме «Циклон-3» в течение 2000-х гг. была прекращена эксплуатация РН «Циклон-2» и «Atlas II», за всю историю пусков которых не было зафиксировано ни одной аварии, а также «Ариане-4». Введены в эксплуатацию новые РН: «Союз-ФГ», «Atlas V», «Delta IV», «Союз-2», «Протон-М».

## 3. Анализ рисков отказа РН

### 3.1. 2000-2009 годы

В табл. 2 приведены сводные данные по отказам РН, сгруппированные в соответствии со странами разработчиками. Последствием отказов систем РН являются аварии (взрыв РН, падение, существенное отклонение от траектории и самоуничтожение), а также вывод КА на нерасчетную орбиту, что обычно расценивается как частичный отказ.

В последнем случае некоторые КА, выведенные на нерасчетную (более низкую) орбиту, имеют возможность самостоятельно её скорректировать, используя ресурс собственной двигательной установки и запасов топлива.

Очевидно, что самостоятельное изменение орбиты приводит к значительному снижению сроков службы спутников. Например, 12 июля 2001 г. из-за преждевременного отключения двигателей второй ступени РН Ariane-5 два спутника Artemis и BSAT-2B были выведены на гораздо более низкую орбиту, чем планировалось (геостационарная орбита).

Таблица 1

Запуски ракетносителей в период 2000 – 2009 гг.

Год	Россия	США	European Union	Китай	Украина	Япония	Индия	Другие страны	ВСЕГО
2000	32	28	12	5	7	1	0	0	85
2001	19	22	8	1	6	1	2	0	59
2002	25	17	12	5	1	3	1	1	65
2003	21	23	4	7	3	3	2	1	64
2004	18	16	3	8	7	0	1	1	54
2005	26	12	5	4	5	2	1	0	55
2006	23	18	5	6	7	6	1	0	66
2007	22	19	6	10	5	2	3	1	68
2008	24	16	6	11	8	1	3	0	69
2009	27	24	7	6	6	3	2	3	78
<b>ВСЕГО</b>	<b>237</b>	<b>195</b>	<b>68</b>	<b>63</b>	<b>55</b>	<b>22</b>	<b>16</b>	<b>7</b>	<b>663</b>

Таблица 2

Запуски ракетносителей в период 2000 – 2009 гг., закончившиеся аварией (АВ) или выводом спутников на нерасчетную орбиту (НРО)

Год	Вид отказа РН	Россия	США	Евросоюз	Китай	Украина	Япония	Индия	Другие страны	ВСЕГО
2000	АВ	1	0	0	0	2	1	0	0	4
	НРО	0	1	0	0	0	0	0	0	1
2001	АВ	1	1	0	0	0	0	0	0	2
	НРО	0	0	1*	0	0	0	1*	0	2
2002	АВ	1	0	1	1	0	1**	0	0	4
	НРО	1*	0	0	0	0	0	0	0	1
2003	АВ	0	1	0	1	0	1	0	1	4
	НРО	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	АВ	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	НРО	0	1*	0	0	2	0	0	0	3
2005	АВ	4	0	0	0	0	0	0	1	5
	НРО	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	АВ	1	3	0	0	1	0	1	0	6
	НРО	0	1*	0	0	0	0	0	0	1
2007	АВ	1	1	0	0	1	0	0	0	3
	НРО	0	1	0	0	0	0	1	0	2
2008	АВ	0	1	0	0	0	0	0	1	2
	НРО	1	0	0	0	0	0	0	0	1
2009	АВ	0	2	0	0	0	0	0	1	3
	НРО	1	0	0	1	0	0	0	1***	3
<b>ВСЕГО</b>	АВ	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>34</b>
	НРО	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>14</b>

**Примечания.** \* Вследствие отказа РН спутник был выведен на нерасчетную орбиту и не смог самостоятельно её скорректировать. Эксплуатация спутника по назначению невозможна.

\*\* При запуске японского РН H-IIA 2024 спутник DASH не смог отделиться от второй ступени, в то время как спутник MDS-1 был успешно доставлен на орбиту. Может быть классифицирован как частично-успешный запуск.

\*\*\* Половина полезной нагрузки не была выведена на расчетную орбиту. В качестве причины неудачи указывают сбой при отделении головного обтекателя: одна из его створок осталась со ступенью, что привело к существенному недобору скорости.

Навигационный спутник Artemis смог самостоятельно перейти на геостационарную орбиту в то время, как коммуникационный спутник BSAT-2B остался на средней околоземной орбите и не мог быть использован по назначению. Такой запуск РН скорее может быть классифицирован как неудачный

чем частично-успешный. Кроме того, в 6 из 14 зафиксированных случаев вывода КА на нерасчетную орбиту (табл. 2) спутники не смогли (или не имели возможности) самостоятельно скорректировать свою орбиту. Как следствие – такие запуски РН были признаны неудачными.

На рис. 1 представлено изменение рисков запусков ракетносителей в 2000-2009 гг. (по сравнению с табл. 2 к категории «другие страны» дополнительно отнесены Япония и Индия). Значение риска (вероятности отказа) рассчитывалось как отношение числа неудачных пусков  $N_{\text{отк.РН}}$  к общему числу пусков  $N_{\text{пуск.РН}}$  по формуле:

$$\text{Risk}_{\text{РН}} = N_{\text{отк.РН}} / N_{\text{пуск.РН}} \quad (1)$$

Значение суммарного риска запусков ракетносителей в течение последних 10 лет колеблется в диапазоне 0,04..0,10 и в среднем составляет 0,072, из них риск аварии – 0,051, риск вывода на нерасчетную орбиту – 0,021. Наибольший риск был зафиксирован в 2006 г. (0,106), в течение которого произошло 7 отказов ракетносителей из 66. Похоже, что данная тенденция приняла устойчивый характер и может сохраняться в ближайшие годы.

Следовательно, фирмам, работающим в ракетно-космической отрасли, придется смириться с потерями от 4 до 10 ракет на каждые 100 пусков.

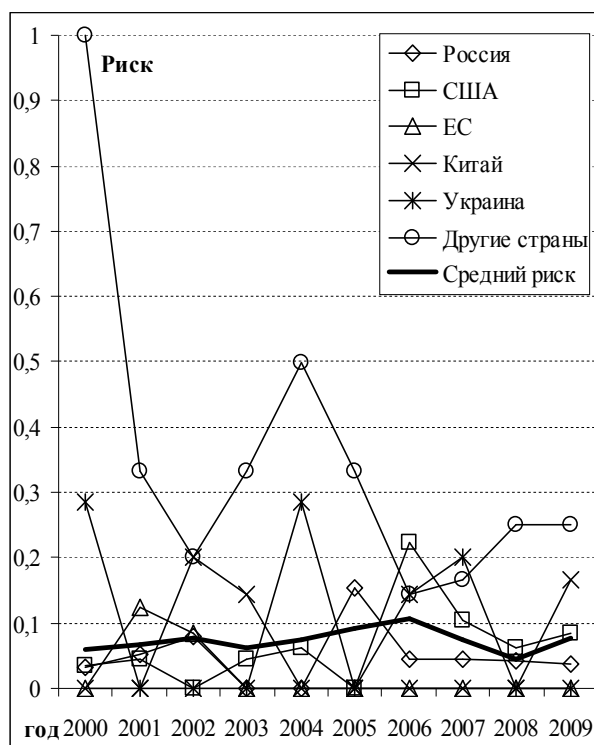


Рис. 1. Изменение рисков запусков РН в период 2000 – 2009 гг.

### 3.2. Сравнение рисков отказа РН за 1990-е и 2000-е годы

По сравнению с 1990-1999 гг. [3] за последние 10 лет значение риска отказа ракетносителей выросло более чем в полтора раза (табл. 3) при том, что общее количество запусков, как уже было отмечено, сократилось примерно на 25%.

Таблица 3  
Сравнение рисков отказа ракетносителей в периоды 1990-1999 и 2000-2009 гг.

Год	Кол-во пусков	Кол-во отказов	Риск	Год	Кол-во пусков	Кол-во отказов	Риск
1990	117	1	0,009	2000	85	5	0,059
1991	89	1	0,011	2001	59	4	0,068
1992	96	1	0,010	2002	65	5	0,077
1993	82	3	0,037	2003	64	4	0,063
1994	93	4	0,043	2004	54	4	0,074
1995	81	7	0,086	2005	55	5	0,091
1996	76	3	0,039	2006	66	7	0,106
1997	91	5	0,055	2007	68	5	0,074
1998	83	6	0,072	2008	69	3	0,043
1999	83	10	0,120	2009	78	6	0,077
Всего	891	41	0,046	Всего	663	48	0,072

Причина этой негативной тенденции, скорее всего, кроется в завершении эксплуатации высоконадежных, но недостаточно эффективных РН «Циклон-2» и «Atlas II/III» и переходе на использование новых усовершенствованных РН, элементы которых являются не до конца отработанными.

### 3.3. Анализ надежности РН

В табл. 4 представлены эксплуатационные характеристики наиболее часто используемых РН. РН «Циклон-2», «Циклон-3», «Днепр», «Рокот» и «Старт» являются конверсионными РН на базе межконтинентальных баллистических ракет.

Как следует из табл. 4, абсолютную надежность имеют:

- РН, выведенные из эксплуатации - «Циклон-2» и «Atlas II/III»;
- РН «Союз-ФГ» – модернизированный РН «Союз-У» с новыми двигателями 1-й и 2-й ступени, отличающимися специальными форсуночными головками для лучшего смесеобразования, что позволило увеличить грузоподъемность до уровня достаточного для бесперебойного вывода трех космонавтов на орбиту.

Кроме показателя надежности, в настоящее время ключевое значение для заказчиков имеет количество последних успешных запусков. По этому показателю среди эксплуатируемых РН лидируют американский РН «Delta II» и российский РН «Протон-К», последние аварии которых приходились на 1997 и 1999 гг. соответственно. Последними авариями РН «Протон-М» и «Зенит-3SL» являются аварии, произошедшие в 2007 г.

Наиболее массовым РН является «Союз-У» (715 запусков), последняя авария которого произошла 15 октября 2002 г.

Таблица 4

## Эксплуатационная надежность ракетносителей

№	РН	Первый запуск	Последний запуск*	Последний аварийный запуск	Кол-во запусков				Надежность, %***
					всего	последних успешных	аварийных	частично-успешных	
1	Циклон-2**	06.08.1969	25.06.2006	-	106	106	0	0	100 (100)
2	Atlas II(III)**	07.12.1991	03.02.2005	-	70	70	0	0	100 (100)
3	Союз-ФГ	20.01.2001	07.10.2010	-	32	32	0	0	100 (100)
4	Atlas V	21.08.2002	21.09.2010	-	23	23	0	1	100 (95,65)
5	Delta IV	11.03.2003	28.05.2010	21.12.2004	13	9	0	1	100 (92,31)
6	Союз-2	08.11.2004	16.10.2010	-	8	8	0	1	100 (87,50)
7	Delta II	14.02.1989	14.09.2010	17.01.1997	147	92	1	1	99,32 (98,64)
8	Протон-М	07.07.2001	14.10.2010	06.09.2007	47	30	1	3	97,87 (91,49)
9	Союз-У	18.05.1973	10.09.2010	15.10.2002	715	45	18	1	97,48 (97,34)
10	Ariane-4**	22.01.1990	15.02.2003	01.12.1994	116	73	3	0	97,41 (97,41)
11	Ariane-5	04.06.1996	04.08.2010	11.12.2002	52	38	3	1	94,23 (92,31)
12	Циклон-3**	24.06.1977	30.01.2009	27.12.2000	122	4	5	2	95,90 (94,26)
13	Космос-3М	15.05.1967	27.04.2010	27.10.2005	425	10	20	8	95,29 (93,41)
14	Зенит-3SL(B)	28.03.1999	30.11.2009	31.01.2007	34	10	2	1	94,12 (91,18)
15	Днепр	21.04.1999	21.06.2010	26.07.2006	16	9	1	0	93,75 (93,75)
16	Протон-К	10.03.1967	28.02.2009	27.10.1999	310	44	26	9	91,61 (88,71)
17	Рокот	20.11.1990	08.09.2010	08.10.2005	17	6	2	0	88,24 (88,24)
18	Зенит-2(М)	13.03.1985	22.06.2009	09.09.1998	38	7	5	0	86,84 (86,84)
19	Старт	25.03.1993	25.04.2006	28.03.1995	7	5	1	0	85,71 (85,71)

**Примечания.** \*Информация актуальна на момент написания статьи – октябрь 2010.

\*\*Эксплуатация РН «Циклон-2», «Циклон-3», «Atlas II/III» и «Ariane-4» завершена.

\*\*\*В скобках указано значение надежности без учета частично-успешных запусков (вывод на нерасчетную орбиту, вывод части на грузки).

## 4. Анализ рисков отказа КА

### 4.1. 2000-2009 годы

Сводные данные по запускам и отказам КА приведены в табл. 5. Успешным считается вывод КА на расчетную орбиту и эксплуатация в течение всего установленного срока службы.

Основными видами отказов КА являются:

- аварии РН (АВ РН), включая отказы при отделении КА от РН;
- размещение КА на нерасчетной орбите (РНО РН);
- отказы разворачивания на орбите (ОРО), включая нераскрытие солнечных батарей, невозможность стабилизации и неправильная ориентация;
- невозможность установления контакта с КА после его вывода на орбиту;
- эксплуатационные отказы бортового оборудования (ОБО) и механические неисправности и повреждения (МНП).

При выводе на нерасчетную орбиту некоторые КА смогли её скорректировать самостоятельно. Однако при гарантийном сроке эксплуатации большинства коммуникационных спутников в 12-15 лет использование ресурсов и топлива собственной двигательной установки в среднем снижает время эксплуатации КА в 2-4 раза.

Из 1060 КА, запущенных за последние 10 лет, отказали 149 КА. Из них 59% – по причине аварий РН и вывода КА на нерасчетную орбиту, 12% – вследствие отказа КА сразу после вывода на орбиту и 29% – из-за фатальных отказов бортового оборудования и механических неисправностей в течение срока гарантийной эксплуатации.

Наибольшее количество КА, потерянных из-за отказа РН, приходится на 2006 г., причем 18 из 23 КА приходится на аварию РН «Днепр», произошедшую 26 июля 2006 г.

Примечательно, что четвертая часть зафиксированных отказов бортового оборудования была парирована за счет резервирования, а также выполнения процедур обслуживания (например, модернизации программного обеспечения) по командам с центра управления полетами. На рис. 2 представлен график изменения различных составляющих риска КА в течение 2000-2009 гг. с учетом данных из табл. 2 и 3, а также интегральный риск (без учета парированных отказов оборудования КА) рассчитанный по формуле:

$$\text{Risk}_{\text{КА}} = \frac{N_{\text{АВ РН}} + N_{\text{РНО РН}}(\text{ФО}+\text{ПО})}{N_{\text{запуск КА}}} + \frac{N_{\text{ОРО}} + N_{\text{ОБО}}(\text{ФО}+\text{ЧО}) + N_{\text{МНП}}(\text{ФО}+\text{ЧО})}{N_{\text{запуск КА}}}, \quad (2)$$

Таблица 5

Статистика запусков и аварий космических аппаратов

Год	Кол-во запусков КА	Количество отказов КА по видам										Всего отказов
		АВ РН	НРО РН		ОРО	ОБО			МНП			
			ФО	ПО		ФО	ЧО	ПО	ФО	ЧО	ПО	
2000	130	9	1	0	2	0	0	1	0	0	0	15
2001	91	6	2	1	2	5	2	3	0	0	0	23
2002	103	5	1	0	1	2	2	0	0	3	1	15
2003	104	8	0	0	0	0	3	5	0	0	0	16
2004	77	1	3	3	0	0	0	1	0	0	0	8
2005	74	5	0	0	1	2	1	1	0	0	0	11
2006	116	23	1	0	7	5	0	3	0	0	0	43
2007	119	3	0	3	1	4	3	2	2	3	0	21
2008	114	5	0	1	0	2	1	0	0	1	1	11
2009	132	4	1	2	4	2	0	1	0	0	0	16
ВСЕГО	1060	69	9	10	18	22	12	17	2	7	2	179

**Примечания.** В таблице использованы следующие обозначения: АВ РН – потери КА вследствие аварии РН; НРО РН – невыход КА на расчетную орбиту из-за отказа РН; ОРО – отказ развертывания на орбите и невозможность установления связи с КА непосредственно после вывода на орбиту; ОБО – отказ бортового оборудования; МНП – механических неисправностей и повреждения элементов конструкции КА; ФО – фатальный отказ; ЧО – частичный отказ; ПО – парированный отказ.

где  $N_{\text{АВ РН}}$  – количество КА, потерянных из-за аварии РН;

$N_{\text{НРО РН (ФО+ЧО)}}$  – количество КА, выведенных на нерасчетную орбиту по причине отказа РН;

$N_{\text{ОРО}}$  – количество отказов КА при развертывании на орбите сразу после запуска;

$N_{\text{ОБО(ФО+ЧО)}}$  – количество фатальных и частичных отказов бортового оборудования КА;

$N_{\text{МНП(ФО+ЧО)}}$  – количество фатальных и частичных отказов механических неисправностей и повреждений КА;

$N_{\text{запуск КА}}$  – общее количество КА, запущенных в 2000-2009 гг.

Как видно из проведенного анализа, риск запусков КА имеет значительные флуктуации по сравнению с риском для РН. Среднее значение интегрального риска отказа КА составляет 0,15, что в два раза превышает риск отказа РН. Пик риска отказов КА приходится на 2006 г. и обусловлен аварией РН «Днепр» с 18 спутниками на борту. Кроме того, в последние годы наметилась тенденция к увеличению риска отказа бортового оборудования КА. В статистику отказов КА намеренно не были включены многочисленные отказы и поломки на международной космической станции (МКС). Также, в табл. 5 не включена информация об отказах, произошедших в течение 2000-2009 гг. для КА, запущенных до 2000 г.

#### 4.2. Сравнение рисков отказа КА за 1990-е и 2000-е годы

Сравнительный анализ статистики запусков и отказов КА (за исключением отказов, произошедших по вине РН) в течение 1990-1999 гг. [3] и за

последние десять лет (табл. 5) показывает, что общее количество КА, запущенных в 2000-2009 гг., увеличилось в 1,25 раз по сравнению с 1990-1999 гг.

С учетом одновременного уменьшения пусков РН в 2000-2009 гг. можно говорить об увеличении доли групповых выводов КА на орбиту (в среднем, на один запуск РН приходится 1,6 КА), а, следовательно, об увеличении цены отказа РН.

Что касается риска отказов КА по вине бортового оборудования (учитывая и неуспешное развертывание КА на орбите после запуска), то он также увеличился по сравнению 1990-х годами с 0,059 до 0,073.

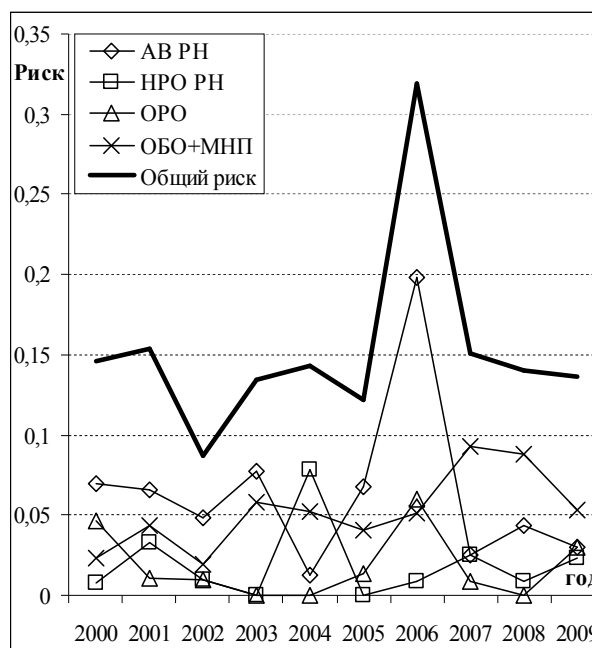


Рис. 2. Риски отказа КА

Таблица 6  
Сравнение рисков отказа космических аппаратов  
в периоды 1990-1999 и 2000-2009 гг.

Год	Кол-во запусков	Кол-во отказов	Риск	Год	Кол-во запусков	Кол-во отказов	Риск
1990	116	2	0,017	2000	130	9	0,069
1991	88	2	0,023	2001	91	5	0,055
1992	95	0	0	2002	103	3	0,029
1993	79	0	0	2003	104	6	0,058
1994	89	2	0,022	2004	77	4	0,052
1995	74	3	0,041	2005	74	4	0,054
1996	73	1	0,014	2006	116	13	0,112
1997	86	12	0,14	2007	119	12	0,101
1998	77	16	0,208	2008	114	10	0,088
1999	73	12	0,164	2009	132	11	0,083
Всего	850	50	0,059	Всего	1060	77	0,073

Кроме того, необходимо отметить, что 7% потерь спутников происходит во время или же непосредственно после доставки на орбиту, что составляет 40% (!) от общего числа отказов КА.

## 5. Анализ причин аварий РН и КА

### 5.1. Общая классификация причин аварий

Анализ информационных источников позволил разделить множество отказов, приводящих к авариям или другим нештатным ситуациям.

Для ракетносителей установлены следующие подмножества:

- 1 ступень (1С);
- 2 ступень (2С);
- 3 ступень (3С);
- средства отделения КА (СО КА);
- разгонный блок (РБ);
- аппаратные средства компьютерной системы управления (АС);
- программные средства (ПС).

Для космических аппаратов получено 8 подмножеств, исходя из типов систем, оборудования или компонент:

- радиоаппаратура (РА);
- программные средства (ПС);
- система электроснабжения (СЭС);
- механическая неисправность или повреждение конструкции КА (МНП);
- аппаратные средства (АС);
- гироскопические устройства (ГС);
- двигательная установка КА (ДУ);
- ошибка обслуживающего персонала (ООП).

В табл. 7 и 8 систематизированы причины и последствия отказов РН и КА соответственно, зафиксированных в 2000-2009 гг. (из рассмотрения

была исключена катастрофа корабля многоразового использования Columbia 1 февраля 2003 г., причиной которой считается повреждение термозащиты).

### 5.2. Анализ отказов компьютерных систем и программных средств

Как видно (рис. 3), 13% отказов РН обусловлено программными средствами систем управления, в то время как для КА этот показатель составляет 20% и еще 6% приходится на отказы аппаратных средств бортовых компьютеров (рис. 4).

Вместе с тем, только 6% фатальных отказов КА произошли из-за отказов ПС (так же как и АС), в то время как для РН они обусловили 15% аварий. Такое расхождение связано с тем, что при проявлении дефектов ПС бортовые компьютеры КА переходят в так называемый «безопасный режим». Это дает возможность специалистам центра управления обнаружить дефект и устранить его путем обновления ПС по резервному каналу связи с КА. Очевидно, что для РН такая возможность отсутствует.

В среднем, дефекты программных средств систем управления приводят к аварии или выводу КА на нерасчетную орбиту в каждом 110-м случае запуска РН, что практически соответствует расчетам, полученным для периода с 1990 по 1999 гг.

Таблица 7  
Причины и последствия отказов ракетносителей

Место отказа	Авария РН	Вывод КА на нерасчетную орбиту	Всего
1С	9	2	11
2С	7	4	11
3С	5	4	9
СО КА	5	1	6
ПС	5	1	6
РБ	1	2	3
АС	1	0	1
Всего	33	14	47

Таблица 8  
Причины и последствия отказов космических аппаратов

Место отказа	Фатальный отказ	Частичный отказ	Парированный отказ/сбой	Всего
РА	20	11	0	31
ПС	3	2	16	21
СЭС	15	3	2	20
МНП	5	8	2	15
АС	3	0	3	6
ГС		2	3	5
ДУ	2	2	0	4
ООП	1	0	0	1
Всего	49	28	26	103



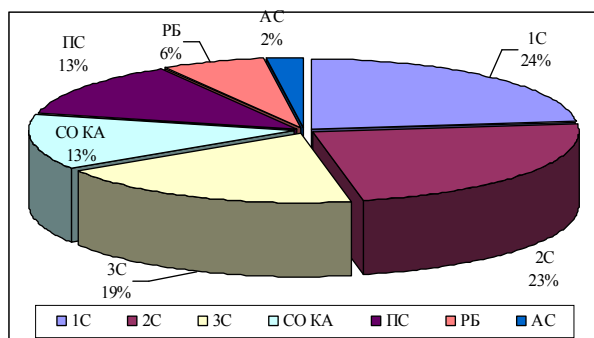


Рис. 3. Диаграмма причин отказов РН

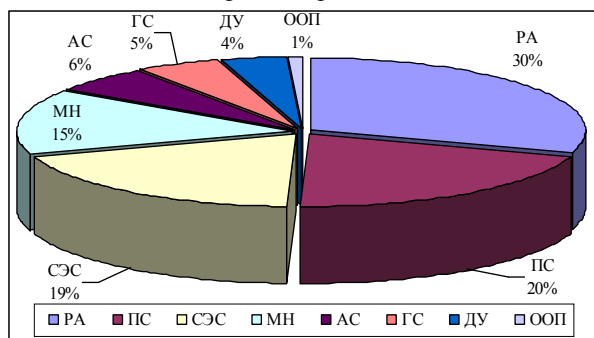


Рис. 4. Диаграмма причин отказов и сбоев в работе КА

Однако необходимо отметить, что в действительности этот показатель может быть существенно выше. Дело в том, что в качестве причины трети отказов ступеней РН и разгонных блоков указывается «преждевременное отключение двигательной установки». Такая причина может быть обусловлена как аномалиями в работе двигательной установки, так и ошибочными командами на преждевременное отключение, выданными системой управления, функциями которой является навигация, стабилизация, управление расходом топлива, отделением ступеней РН и полезной нагрузки.

Отдельный интерес для отечественных специалистов представляет авария РН «Зенит-3SL», произошедшая 12 марта 2000 г. В результате расследования причины катастрофы следственной комиссией было установлено, что авария произошла из-за логической ошибки в программном алгоритме наземной автоматизированной системы предстартовой подготовки [10]. Не была выдана обязательная команда на закрытие клапана пневмосистемы 2-й ступени. Потеря давления газа в системе, обеспечивающей работу автоматики рулевого двигателя второй ступени, превысила 60%, что привело к нерасчетному режиму работы двигателя и вызвало его остановку на 461-й секунде полета.

Разработчиками автоматизированной системы предстартовой подготовки являются специалисты ракетно-космического комплекса «Энергия» (Россия). Отмечается, что данный дефект был внесен после модернизации программного обеспечения.

Кроме того, по информации ГКБ «Южное» это второй (!) случай аварийного проявления данного дефекта в системе предстартовой подготовки. Первый привел к аварии РН «Зенит-2», в рамках программы «Globalstar» 9 сентября 1998 г.

Другими словами, аварию РН «Зенит-3SL» можно было избежать, если бы в результате расследования аварии РН «Зенит-2» была установлена и устранена истинная причина. В этом случае надежность РН «Зенит-3SL» могла бы составить 97%, что превысило бы показатели РН «Ariane-5». Непосредственным следствием программного дефекта является снижение степени доверия к РН «Зенит-2/3SL» и репутации программы «Морской старт», потеря потенциальных клиентов и прибыли.

### 6. Инциденты на МКС в 2000-е годы: отказы компьютерных систем

При анализе степени влияния современных компьютерных средств на надежность ракетно-космической техники заслуживает внимания рассмотрение наиболее крупных инцидентов на международной космической станции в течение 2000-2009 гг.

21 февраля 2000 г. в американском сегменте МКС кратковременно вышел из строя главный из трех бортовых компьютеров, выполняющих командные и контрольные функции. Связь со станцией была восстановлена путем перехода на резервный бортовой компьютер. По версии специалистов, причиной сбоя явился дефект программного обеспечения.

25 апреля 2001 г. отказали все три бортовых компьютера американского сегмента МКС и нарушилась связь с центром управления полетом в Хьюстоне. Как выяснилось впоследствии, произошел отказ в устройстве хранения информации, где были повреждены файлы на жестких дисках. В настоящее время вместо жестких дисков применяются запоминающие устройства на твердотельных накопителях.

4 февраля 2002 г. МКС на несколько часов потеряла управление из-за отказа компьютера, транслирующего команды от российских датчиков, определяющих положение станции, к гироскопам американского производства. В результате на МКС отказали системы голосовой связи с Землей и ориентации в космическом пространстве.

21 мая 2002 г. на МКС на три часа отключались системы жизнеобеспечения и научные приборы. Причиной сбоя явилось проявление дефекта программы одного из бортовых компьютеров.

12 июня 2007 г. сбой компьютера в российском сегменте оставил станцию без нормальной работы двигателей ориентации, оборудования для генерации кислорода, поглощения углекислого газа и других систем жизнеобеспечения. Автоматическая пе-

резагрузка компьютера привела к ложной пожарной тревоге. Дальнейшее исследование причин неисправности показало, что проблема заключалась в образовании конденсата на электрических контактах. Это стало причиной короткого замыкания, которое привело к отправке команды отключения питания основного и дублирующих компьютеров. Таким образом, даже многократное резервирование бортовых компьютеров в ряде случаев не позволяет избежать отказа, если имеются дефекты ПС.

Однако, программное обеспечение является не только источников отказов, но и гибким механизмом для парирования конструктивных недостатков и отказов других систем КА. Например, проблема низкого качества снимков, получаемых японским спутником космического зондирования земной поверхности Daichi (ALOS) из-за недостаточно устойчивой стабилизации спутника и высокого уровня шума, была решена с помощью программной реализации функций коррекции и цифровой фильтрации на спутнике [11].

Другим показательным примером является история КА Hayabusa (Япония), запущенного для исследования астероида Итокава. После преждевременного расхода топлива маневровых реактивных двигателей (из-за перерасхода топлива при удержании заданного направления движения КА после выхода из строя двух из трех гироскопов системы стабилизации) японским ученым удалось перепрограммировать систему управления для осуществления ориентации и стабилизации КА на основе создания реактивной тяги за счет использования запасов ксенона ионного маршевого двигателя.

## Заключение

В данной работе проведен анализ аварий РКТ за первое десятилетие 21-го века. Первый год второго десятилетия показывает, что и это десятилетие, к сожалению, будет давать информацию для анализа. Сравнение аварийности РН и КА за последнее десятилетие прошлого и первое десятилетие нынешнего веков показывает, что суммарные риски не только не уменьшились, а и возросли.

Следует отметить, что возросли риски аварийности, вызванные отказами компьютерных систем. Отказы и сбои программных и аппаратных средств (20% и 6% соответственно) бортовых компьютеров занимают второе место (после отказов радиоаппаратуры) среди причин отказов КА.

Кроме того, часть отказов радиоаппаратуры также может быть связана с отказом аппаратных средств.

Каждый седьмой отказ РН обусловлен проявлением дефекта программных средств, в то время как отказ аппаратных средств систем управления не

является характерным для РН. Среди причин отказов РН стран с развитой ракетно-космической индустрией (прежде всего России, США и Украины) следует выделить три основные группы: преждевременное отключение двигательных установок различных ступеней РН; проблемы отделения ступеней, ускорителей, разгонных блоков, обтекателей и выводимых платформ; попадание посторонних частиц в критические элементы двигательных установок и электротехнических механизмов. На первый взгляд, преждевременное отключение двигательных установок может быть связано как с аномалиями в работе ДУ, так и с ошибками в работе бортовых систем управления. Отказы второй группы скорее обусловлены дефектами пиротехнических электро-механических устройств отделения элементов конструкции РН, а также могут быть вызваны отсутствием своевременных команд СУ на срабатывание этих устройств или же дефектами кабельных соединений. Третья группа отказов указывает на возможные дефекты изготовления и сборки элементов РН, а также конструктивное несовершенство. Понимание первопричин таких событий будет способствовать снижению рисков аварий РН. Аварии ракетоносителей других стран чаще всего происходят по причине несовершенства их конструкции и элементов РН. Тем не менее, стоит отметить, что последний аварийный пуск РН «Ariane-5ECA» в декабре 2002 г. был связан с отказом новой двигательной установки Vulcain 2 из-за воздействия запредельных механических и тепловых нагрузок, которые, как выяснилось, нельзя было смоделировать во время наземных испытаний [12].

## Тенденции

2000-2009 гг. для многих семейств РН является границей перехода на новые версии РН (Протон-М, Зенит-3SL, Delta-IV, Atlas-V). Для российских РН в этот период характерным является замена аналоговых систем управления на цифровые, например, в РН Протон-М 8K82KM (первый запуск осуществлен 7 апреля 2001) и РН Союз-2.1. Это позволило расширить функциональные характеристики РН (точность выведения, устойчивость и управляемость) и использовать баллистические траектории и режимы работы, которые ранее были недоступны из-за недостаточного быстродействия аналоговой СУ.

Наметилась тенденция к переходу на экологически чистые РН, снижающие загрязнение окружающей среды при запуске, а также в случае возможной аварии (например, после неудачного запуска РН «Протон-М» 6 сентября 2007 г. её обломки, упали в 40 км от города Джезказган, залив его окрестности высокотоксичным гептилом).

В области изготовления, производства и запусков РН и КА следует отметить тенденцию тесной кооперации множества различных компаний и стран. Десятилетие назад нельзя было представить, что американский РН Atlas-V, производимый и запускаемый консорциумом Lockheed Martin и Boeing будет использовать двигательную установку РД-180 российского производства.

Современной тенденцией создания систем управления космических аппаратов является широкое использование операционной системы. В частности, ОС реального времени VxWorks с вытесняющей многозадачностью является фактически стандартом для космической электроники. Наиболее яркими примерами может служить использование VxWorks в космических проектах NASA Mars Pathfinder (1997), Mars Exploration Rover (2003), Deep Space One, Mars Odyssey, Stardust, в спутнике PROBA Европейского Космического Агентства и на челноке Lifeboat МКС.

В качестве языка программирования для разработки ПО СУ ракетно-космических комплексов в России используется Модула-2 и отечественный компилятор Excelsior (XDS). В качестве операционной системы реального времени может быть использована российская ОС2000, разработанная для СУ на базе микропроцессоров MIPS и Intel или QNX 4.25D (Канада). Европейское Космическое Агентство для написания ПО управления ракетой Ariane-5 использовало Ада-95. В США также широко используется язык программирования Ада-95.

## Предложения

Расширение функций, реализуемых программными средствами бортовых систем, с одной стороны, повышает требования к их надежности, а с другой, – приводит к увеличению числа дефектов и усложняет процесс их выявления, особенно в условиях внедрения операционной системы и многозадачности. Показательным примером является история внесения, проявления и исправления дефекта ПС марсохода Mars Pathfinder, связанного с проблемой инверсии приоритетов при реализации механизма блокировки доступа к информационной шине различных управляющих задач в ОС VxWorks, подробное описание которой представлено в [13].

Как показал анализ, данная проблема не была выявлена заранее из-за того, что к её проявлению приводило редкое сочетание событий, которое не моделировалось при проведении тестирования. Тем не менее, данный дефект проявился уже на следующий день после приземления Pathfinder на Марс, причем неоднократно. Вместе с тем разработчиками программных средств Mars Pathfinder были реализо-

ваны механизмы по восстановлению после отказов и сбоев из-за различных проблем, большинство из которых так и не произошло за время миссии.

Таким образом, при разработке систем управления РКТ важным является априорный анализ критичности возможных отказов и воздействующих факторов для более эффективной реализации механизмов восстановления, а также обеспечение соответствия профиля тестирования реальным условиям эксплуатации. В этой связи целесообразно применять математически-обоснованные формальные методы проектирования и верификации аппаратных, программных средств и систем в целом, таких как Event-B и Model Checking в контексте требований, изложенных в стандартах ECSS.

Перспективность этого направления подтверждается также тем, что развернут специальный сайт NASA по этой проблематике, а начиная с 2009 года, NASA проводит ежегодные симпозиумы по применению формальных методов [14].

Инвариантно-ориентированные методы оценки функциональной безопасности программных средств для РКТ описаны в [15]. В данной работе при оценке рисков не учитывался ущерб от отказов. Экономическая оценка и расчет рисков с учетом величины ущерба представляет одно из направлений дальнейших исследований. Кроме того, полученные данные и данные об авариях РКТ предыдущих 40 лет, дают хорошую выборку для детальной статистической обработки. Оценки могут быть также уточнены с учетом неточности или нечеткости исходных данных.

## Литература

1. Авария из-за ошибки [Электронный ресурс] / Интерфакс. – Режим доступа: <http://www.interfax.ru/print.asp?sec=1446&id=169821>.
2. Железняков А.Б. Взлетая, падала ракета / А.Б. Железняков. – СПб.: Система, 2003. – 220 с.
3. Харченко В.С. Анализ рисков аварий ракетно-космической техники: эволюция причин и тенденций / В.С. Харченко, В.В. Скляр, О.М. Тарасюк // *Радиоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2003. – № 3 (3). – С. 135-149.
4. Тарасюк О.М. Безопасность аэрокосмической техники и надежность компьютерных систем / О.М. Тарасюк, В.С. Харченко, В.В. Скляр // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2004. – № 1 (9). – С. 66-80.
5. Hansen M. Report of the Defense Science Board Task Force on Defense Software / M. Hansen, R.F. Nesbit. – Washington: Defense Science Board, 2000. – 59 p.
6. Харченко В.С. Теоретические основы дефектоустойчивых цифровых систем с версионной избыточностью / В.С. Харченко. – МО Украины, 1996. – 402 с.

7. Лабенский В.Б. Применение корреляционно-регрессионного анализа при планировании работ в ракетно-космической отрасли / В.Б. Лабенский // Проблемы управления и информатики. – 2001. – № 4. – С. 101-110.

8. Радаев Н.Н. Повышение точности прогноза вероятности катастроф за счет ущерба неоднородных статистических данных / Н.Н. Радаев // Автоматика и телемеханика. – 2000. – № 3. – С. 183-189.

9. Тымчук Д. Алкантара Циклон Спейс: долгий путь [Электронный ресурс] / Д. Тымчук. – Режим доступа: <http://fлот2017.com/show/editorial/31407>.

10. «Медные трубы» для «Зенита» [Электронный ресурс] / Национальный институт стратегических исследований. Центр исследований армии, конверсии та розроблення. – Режим доступа: <http://old.niss.gov.ua/cacds/archgiveu/Ber/0318a.html>.

11. Utilization of Data Acquired by "DAICHI" (Advanced Land Observing Satellite) for Maps [Элек-

тронный ресурс] / JAXA 2008-01-16. – Режим доступа: [http://www.jaxa.jp/press/2008/01/20080116\\_sac\\_daichi\\_e.html](http://www.jaxa.jp/press/2008/01/20080116_sac_daichi_e.html).

12. Вольнкина Е. Маленькие трещинки в сопле двигателя стали причиной аварии большой ракеты Ariane 5 [Электронный ресурс] / Е. Вольнкина // Космические новости. – Режим доступа: <http://news.cosmoport.com/2003/01/09/3.htm>.

13. Jones M.B. What Happened on Mars? [Электронный ресурс] / M.B. Jones // Microsoft Corporation. – Режим доступа: [http://research.microsoft.com/en-us/um/people/mbj/mars\\_pathfinder/](http://research.microsoft.com/en-us/um/people/mbj/mars_pathfinder/).

14. The 1<sup>st</sup> NASA Formal Method Symposium [Электронный ресурс] / NASA. – Режим доступа: <http://ti.arc.nasa.gov/events/nfm09/>.

15. Инвариантно-ориентированные методы оценки качества программного обеспечения космических систем / Под ред. Б.М. Конорева, В.С. Харченко – Х.: ХАИ, 2009. – 214 с.

Поступила в редакцию 25.01.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., проф. кафедры инженерии программного обеспечения Б.М. Конорев, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

#### БЕЗПЕКА РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ ТА НАДІЙНІСТЬ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ: 2000-2009 РР.

*А.В. Горбенко, С.О. Засуха, В.І. Рубан, О.М. Тарасюк, В.С. Харченко*

Представлено статистику запусків ракетноносіїв і космічних апаратів у 2000-2009 роках, а також проведено аналіз ризиків аварій ракетно-космічної техніки внаслідок відмов обладнання та різних системних компонентів. Представлено результати оцінки ризиків аварій для ракетноносіїв і космічних апаратів впродовж останніх десяти років та порівняння ризиків і причин аварій за 1990-ті та 2000-ті роки. Дана оцінка впливу відмов комп'ютерних систем управління, їх апаратних і програмних засобів на ризики виникнення аварій ракетно-космічної техніки.

**Ключові слова:** безпека ракетно-космічної техніки, ризики аварій ракетноносіїв і космічних апаратів, надійність комп'ютерних систем, дефекти програмних засобів.

#### SAFETY OF ROCKET-SPACE ENGINEERING AND RELIABILITY OF COMPUTER SYSTEMS: 2000-2009 YEARS

*A.V. Gorbenko, S.O. Zasukha, V.I. Ruban, O.M. Tarasyuk, V.S. Kharchenko*

Rockets and satellites launch statistics during 2000-2009 years are presented in the paper, and risks of rocket-space engineering caused by equipment and components failures are analyzed. Results of risk assessment for carrier-rockets and spacecrafts as well as comparison of emergencies risks and their causes during 1990-1999 and 2000-2009 years are described. Influence of failures of computer systems, hardware and software on risks of carrier-rocket and spacecraft emergencies is analyzed.

**Keywords:** safety of rocket-space engineering, risks of carrier-rocket and spacecraft emergencies, computer system reliability, software faults.

**Горбенко Анатолий Викторович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры компьютерных систем и сетей Национального аэрокосмического университета «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: [A.Gorbenko@csac.khai.edu](mailto:A.Gorbenko@csac.khai.edu).

**Засуха Сергей Алексеевич** – заместитель директора Национального космического агентства Украины, Киев, Украина, e-mail: [zasukha@nkau.gov.ua](mailto:zasukha@nkau.gov.ua).

**Рубан Виталий Иванович** – магистрант кафедры компьютерных систем и сетей Национального аэрокосмического университета «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: [V.Ruban@csac.khai.edu](mailto:V.Ruban@csac.khai.edu).

**Тарасюк Ольга Михайловна** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры компьютерных систем и сетей Национального аэрокосмического университета «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: [O.Tarasyuk@csac.khai.edu](mailto:O.Tarasyuk@csac.khai.edu).

**Харченко Вячеслав Сергеевич** – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой компьютерных систем и сетей Национального аэрокосмического университета «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: [V.Kharchenko@khai.edu](mailto:V.Kharchenko@khai.edu).