

УДК 629.7.017

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБОБЩЁННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЁЖНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ВКЛЮЧАЮЩИХ ПОДСИСТЕМЫ ОДНОКРАТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ

© 2010 В. А. Данилкин, Д. В. Тыщенко

Открытое акционерное общество «Государственный ракетный центр  
имени академика В. П. Макеева»

Предложены уточнения в определении обобщённых показателей надёжности сложной технической системы (СТС), включающей подсистемы однократного применения, рассмотренные на примере системы «стартовый комплекс - ракета-носитель» (СК-РН) в условиях её конверсионного использования. Показано увеличение показателей надёжности при использовании указанных уточнений на примере одного из конверсионных ракетных комплексов.

*Обобщённые показатели надёжности, надёжность сложной технической системы, стартовый комплекс, ракетно-космический комплекс.*

Определение обобщённых показателей надёжности (ПН) сложной технической системы (СТС), включающей подсистемы однократного применения, рассмотрено на примере системы «стартовый комплекс - ракета-носитель» (СК-РН) в условиях её конверсионного использования. Эта актуальная задача детально решается разработчиками, так как уровень надёжности конверсируемых ракетных комплексов связан, в том числе, с величиной последующих финансовых затрат на страхование и с обеспечением возможности долгосрочного корректного планирования программ конверсионных пусков РН.

Проведение обобщённых оценок надёжности СТС предусмотрено действующими нормативно-техническими документами, в частности ГОСТ 27.002-89 [1], и подразумевает в своей основе всесторонний учёт ПН, связанных не только с периодом непосредственного применения СТС, но и с её предшествующей эксплуатацией (хранением).

К дополнительно учитываемым ПН при проведении оценок надёжности системы СК-РН также относят показатели надёжности так называемых обеспечивающих систем (ОС), т.е. систем, структурно не входящих в состав СТС, но обеспечивающих возможность её функционирования. Так, например, для конверсируемых СК морского базирования к

указанным ОС относятся системы энергообеспечения, навигации корабля и др.

Формула для определения показателя надёжности СК при подготовке к пуску и пуске РН при отсутствии зачётных отказов СК получена в [2]:

$$P_K(\tau_{II}) = \frac{3(n + n^{\text{ЭКВ}} + \sum_{i=1}^I P_i) + 4}{3(n + n^{\text{ЭКВ}} + \sum_{i=1}^I P_i) + 6}, \quad (1)$$

где  $P_K(\tau_{II})$  – вероятность безотказной работы (ВБР) СК при подготовке к пуску и пуске одной РН;  $n$  – количество успешных пусков конверсионных РН;  $n^{\text{ЭКВ}}$  – количество успешных эквивалентных испытаний СК;

$\sum_{i=1}^I P_i$  – количество зачётных подготовок при незапуске РН.

Понятие эквивалентного количества испытаний и алгоритм его подсчёта были разработаны и внедрены в практику проведения оценок надёжности комплексов разработки ОАО «ГРЦ Макеева» в связи со снижением количества пусков РН в период испытаний и эксплуатации, что подробно рассмотрено в [2]. Проведённые ранее расчёты

с использованием полученных значений  $n^{\text{ЭКВ}}$  подтверждают правомочность применения эквивалентного количества испытаний для уточнения расчётов надёжности СК. Помимо имеющихся значений  $n^{\text{ЭКВ}}$  для конверсионных (снимаемых с основной эксплуатации) СК-РН добавляется количество зачётных подготовок в период предшествующей эксплуатации СК при незапуске РН (по вине систем РН), также введённое в аппарат расчётов в [2].

При наличии  $m$  зачётных отказов СК при подготовке к пуску РН имеем:

$$P_K(\tau_{II}) = 1 - \frac{m}{n + n^{\text{ЭКВ}} + \sum_{i=1}^I P_i}. \quad (2)$$

Введя в формулу (1) показатель надёжности самой РН при подготовке к пуску и пуске, а также показатель надёжности ОС, для определения обобщённого показателя надёжности системы СК-РН при подготовке к пуску и пуске РН (при отсутствии зачётных отказов СК) получим выражение:

$$P_O(\tau_{II}) = \frac{3(n + n^{\text{ЭКВ}} + \sum_{i=1}^I P_i) + 4}{3(n + n^{\text{ЭКВ}} + \sum_{i=1}^I P_i) + 6} \times \\ \times P_{PH}(\tau_{II}) P_{OC}(\tau_{II}), \quad (3)$$

где  $P_O(\tau_{II})$  – ВБР системы СК – РН при подготовке к пуску и пуске РН с учётом ОС;  $P_{PH}(\tau_{II})$  – ВБР РН при подготовке и пуске;  $P_{OC}(\tau_{II})$  – ВБР ОС при подготовке и пуске РН.

Если требуется получить оценку ВБР системы СК – РН с учётом ОС и показателей хранения системы СК – РН (вероятности сохранения работоспособного состояния РН к моменту производства пуска и вероятности нахождения СК в работоспособном состоянии для производства пуска РН в любой момент периода ожидания пуска), необходимо следующее дополнение формулы (3):

$$P_O(\tau_{II,XP}) = \frac{3(n + n^{\text{ЭКВ}} + \sum_{i=1}^I P_i) + 4}{3(n + n^{\text{ЭКВ}} + \sum_{i=1}^I P_i) + 6} P_K(\tau_{II,XP}) \times \\ \times P_{PH}(\tau_{II,XP}) P_{OC}(\tau_{II,XP}), \quad (4)$$

где  $P_O(\tau_{II,XP})$  – ВБР системы СК – РН при подготовке к пуску и пуске РН с учётом их хранения и функционирования ОС;  $P_{PH}(\tau_{II,XP})$  – ВБР РН при подготовке к пуску и пуске с учётом хранения РН;  $P_{OC}(\tau_{II,XP})$  – ВБР ОС при подготовке к пуску и пуске РН с учётом хранения ОС.

Среднеквадратическое отклонение значений приведённых выше оценок может быть вычислено:

-при отсутствии зачётных отказов СК

$$S\{P_K(\tau_{II})\} = \frac{3(n + n^{\text{ЭКВ}} + \sum_{i=1}^I P_i) + 4}{3(n + n^{\text{ЭКВ}} + \sum_{i=1}^I P_i) + 6} \times \\ \times \sqrt{\frac{P_K(\tau_{II})\{1 - P_K(\tau_{II})\}}{n + n^{\text{ЭКВ}} + \sum_{i=1}^I P_i}}, \quad (5)$$

-при наличии зачётных отказов СК

$$S\{P_K(\tau_{II})\} = \sqrt{\frac{P_K(\tau_{II})\{1 - P_K(\tau_{II})\}}{n + n^{\text{ЭКВ}} + \sum_{i=1}^I P_i}}, \quad (6)$$

-при отсутствии зачётных отказов СК

$$S\{P_O(\tau_{II,XP})\} = \frac{3(n + n^{\text{ЭКВ}} + \sum_{i=1}^I P_i) + 4}{3(n + n^{\text{ЭКВ}} + \sum_{i=1}^I P_i) + 6} \times \\ \times \sqrt{\frac{P_O(\tau_{II,XP})\{1 - P_O(\tau_{II,XP})\}}{n + n^{\text{ЭКВ}} + \sum_{i=1}^I P_i}}, \quad (7)$$

-при наличии зачётных отказов СК

$$S\{P_o(\tau_{п,XP})\} = \sqrt{\frac{P_o(\tau_{п,XP})\{1 - P_o(\tau_{п,XP})\}}{n + n^{\text{экв}} + \sum_{i=1}^l P_i}}. \quad (8)$$

Введённые уточнения позволяют получить более точную оценку значений показателя ВБР СК, как при отсутствии зачётных отказов систем СК при проведении подготовки к пуску РН, так и при их наличии, а также при малом количестве проведённых пусков РН. Увеличение количественных значений оценок обобщённого показателя на-

дёжности пуска для одного из отечественных конверсионных комплексов при использовании предлагаемых дополнений в аппарате расчётов представлено в табл. 1.

Повышение достоверности оценок надёжности и, следовательно, оценок эффективности применения СТС является важным аргументом для увеличения «портфеля заказов» по космическим запускам для отечественных конверсионных ракетно-космических комплексов. При реализации предложений по созданию систем оперативного реагирования, рассмотренных в [3], полученные соотношения будут справедливы и для оценок их надёжности.

Таблица 1

Обобщённый показатель надёжности пуска для системы СК-РН	Расчётное значение без учёта результатов предшествующих пусков и $n^{\text{ЭКВ}}$	Расчётное значение с учётом результатов всех предшествующих пусков и $n^{\text{ЭКВ}}$
Без учёта обеспечивающих систем	0,97	0,992
С учётом обеспечивающих систем	0,95	0,99

### Библиографический список

- ГОСТ 27.002-89. Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения. - 1989.
- Тыщенко Д. В. Повышение достоверности оценок надёжности сложных технических систем, включающих подсистемы однократного применения/ Сб. материалов ОНТК «Третьи Уткинские чтения»/ БГТУ «Военмех им. Д.Ф.Устинова. – СПб., 2007.
- Данилкин В. А., Тыщенко Д. В. Разработка математических моделей для проведения оценок эффективности применения перспективных систем оперативного реагирования /Сб. трудов XXVI Российской школы по механике и процессам управления. – М., 2006.

### References

- GOST (National Standard) 27.002-89. Technical reliability. Basic concepts. Terms and definitions, Moscow, 1989.
- Tyshchenko, D. V. Improving the accuracy of evaluating the reliability of complex technical systems including single-use subsystems / Collection of materials of scientific and technical conference on science and technology “Third Utkin Readings” / Baltic State Technical University “Voyenmekh named after D. F. Ustinov”, Saint Petersburg, 2007.
- Danilkin, V. A., Tyshchenko D. V. Development of mathematical models for evaluating the efficiency of using advanced prompt response systems / Collection of transactions of the XXVI Russian school on mechanics and control processes / Moscow, 2006.

---

**DEFINING GENERALIZED RELIABILITY CHARACTERISTICS OF COMPLEX  
TECHNICAL SYSTEMS INCLUDING SINGLE-USE SUBSYSTEMS**

© 2010 V. A. Danilkin, D. V. Tyshchenko

Public Joint-Stock Company “State Rocket Centre named after academician V. P. Makeyev”

Refinements in defining generalized reliability characteristics of a complex technical system including single-use subsystems are proposed. They are considered using the “launch complex-carrier rocket” system in conditions of its conversion usage as an example. Reliability characteristics are shown to improve in case the refinements mentioned are used. One of conversion rocket complexes is taken as an example.

*Generalized reliability characteristics, reliability of a complex technical system, launch complex, space-rocket complex.*

**Информация об авторах**

**Данилкин Вячеслав Андреевич**, заместитель генерального конструктора ОАО «ГРЦ Макеева», кандидат экономических наук. Область научных интересов: ракетно-космические программы по конверсионному использованию эксплуатируемых ракетных комплексов.

**Тыщенко Дмитрий Владимирович**, ведущий научный сотрудник ОАО «ГРЦ Макеева», кандидат технических наук. Область научных интересов: обеспечение и контроль надёжности и защищённости эксплуатируемых и проектируемых ракет и ракетных комплексов.

**Danilkin Vyacheslav Andreyevitch**, deputy general designer, candidate of economic science, joint-stock company “Makeyev State Rocket Centre”, [src@makeyev.ru](mailto:src@makeyev.ru). Area of research: space-rocket programmes on conversion usage of rocket complexes being used.

**Tyshchenko Dmitry Vladimirovitch**, senior researcher of the joint-stock company “Makeyev State Rocket Centre”, candidate of technical science, [src@makeyev.ru](mailto:src@makeyev.ru). Area of research: provision and control of reliability and protection of rockets and rocket complexes being used and designed.