

doi: 10.15407/knit2016.02.003

УДК: 629.764.7

**В. А. Демченко**

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

## ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ

*Безопасность ракет-носителей и выполнение возросших требований к ее обеспечению — актуальная проблема, решение которой считается одним из основных условий повышения конкурентоспособности на рынке пусковых услуг. В работе рассмотрены детерминистический и вероятностный подходы, которые широко применяются для обеспечения безопасности технических систем и промышленных объектов. Рассматривается возможность создания интегрированного подхода, объединяющего достоинства обоих подходов. Приведен пример применения единого подхода для анализа безопасности упрощенной системы наддува бака ракеты-носителя. Подтверждено, что предложенный подход применим для обеспечения безопасности ракетно-космической техники.*

**Ключевые слова:** обеспечение безопасности, ракета-носитель, детерминистический подход, вероятностный подход, оценка рисков, запас безопасности, глубоко эшелонированная защита, наддув бака.

---

### ВВЕДЕНИЕ

Техногенные аварии и катастрофы конца XX и начала XXI столетий показали, что дальнейшее развитие современной цивилизации невозможно без системного подхода к решению проблем обеспечения безопасного функционирования структурно-сложных систем и разработки математического аппарата для количественной оценки риска. Ракеты-носители (РН) относятся к сложным техническим системам, а проблема обеспечения безопасного функционирования может считаться одной из ключевых, определяющих перспективы их применения.

Несмотря на глубину исследований в области обеспечения безопасности, полученные результаты и применяемые меры, аварии РН по-прежнему происходят. Этим определяется актуальность работ по обеспечению безопасности, выполнение которых, в конечном итоге, опреде-

ляет перспективность ракет-носителей и их конкурентоспособность на рынке пусковых услуг.

Целью данной работы является анализ известных подходов к обеспечению безопасности, выявление их сильных и слабых сторон, и исследование возможности применения интегрированного подхода к обеспечению безопасности ракет-носителей.

Безопасность системы — это состояние, при котором риск ухудшения здоровья, получения травм или гибели людей, или нанесение ущерба имуществу снижен до приемлемого значения и поддерживается на этом или более низком уровне при помощи непрерывного процесса выявления источников опасности и контроля факторов риска. Количественной характеристикой безопасности принято считать риск причинения вреда жизни или здоровью людей, имуществу и другим объектам.

Обеспечение безопасности РН представляет собой проблему, решение которой должно быть основано на комплексном, системном подходе.

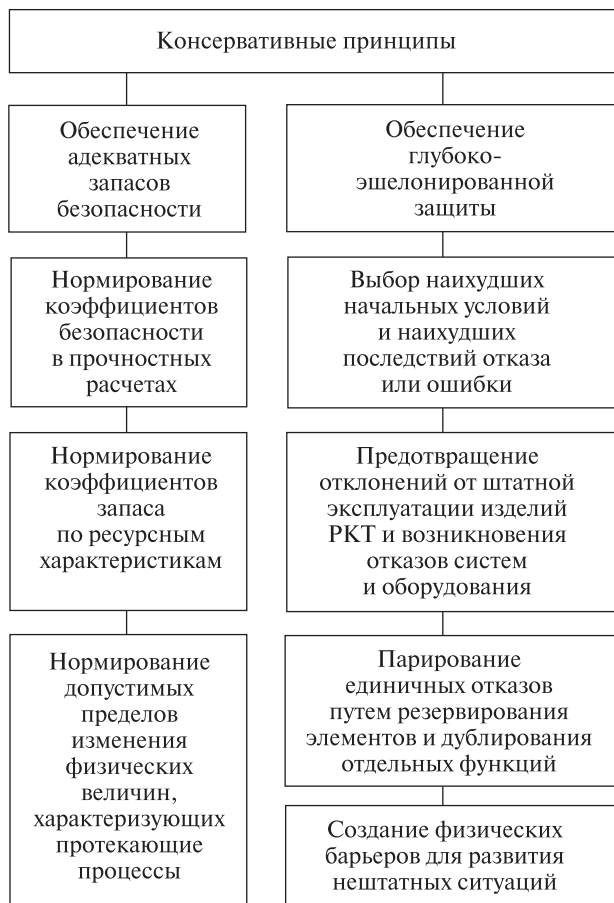


Рис. 1. Консервативные принципы обеспечения безопасности

Этот процесс охватывает все основные этапы жизненного цикла РН, начиная от подготовки контрактных документов и заканчивая утилизацией изготовленной матчасти.

На сегодняшний день для обеспечения безопасности опасных технических систем и промышленных объектов наиболее широко применяются детерминистический и вероятностный подходы.

Детерминистический подход используется в качестве основы принятия решений по обеспечению безопасности, поскольку сосредоточен на наиболее тяжелых авариях. Вместе с тем для большинства потенциально высокоопасных технических систем выполняется вероятностный анализ безопасности (ВАБ), результаты которого используются в дополнение к детерминистическому анализу безопасности (ДАБ). согласо-

ванность вероятностных и детерминистических оценок является фундаментом для принятия взвешенных решений в вопросах обеспечения безопасности эксплуатации ракетно-космической техники. Таким образом, создаются условия для применения интегрированного подхода, который представляет собой комбинацию детерминистического и вероятностного подходов к обеспечению безопасности технических систем.

### ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

При детерминистическом анализе для важнейших параметров, характеризующих состояние технической системы, используются единственные численные значения (с предполагаемой вероятностью, равной 1), что приводит к единственному значению результата. Это подразумевает акцентирование внимания на типах аварий и их последствиях без учёта вероятностей различных последовательностей событий. Сущность детерминистического подхода заключается в определении и реализации консервативных принципов и требований при проектировании и эксплуатации ракет-носителей. Консервативные принципы определены на схеме, приведенной на рис. 1.

Одним из консервативных принципов высокого уровня является принцип обеспечения глубокоэшелонированной защиты (ГЭЗ). Реализация стратегии ГЭЗ на этапах проектирования и эксплуатации технических систем достигается установкой физических барьеров на пути распространения опасности, а также многоуровневой системы технических мер, направленных на выполнение функций безопасности и обеспечение целостности указанных барьеров в условиях нормальной и нештатной эксплуатации.

Уровни глубокоэшелонированной защиты определены ниже.

*Уровень 1.* Предотвращение нарушения штатной эксплуатации и парирование единичных отказов.

*Уровень 2.* Контроль нарушения штатной эксплуатации и обнаружение отказов.

*Уровень 3.* Контроль развития нештатной ситуации в рамках предусмотренных нештатных ситуаций.

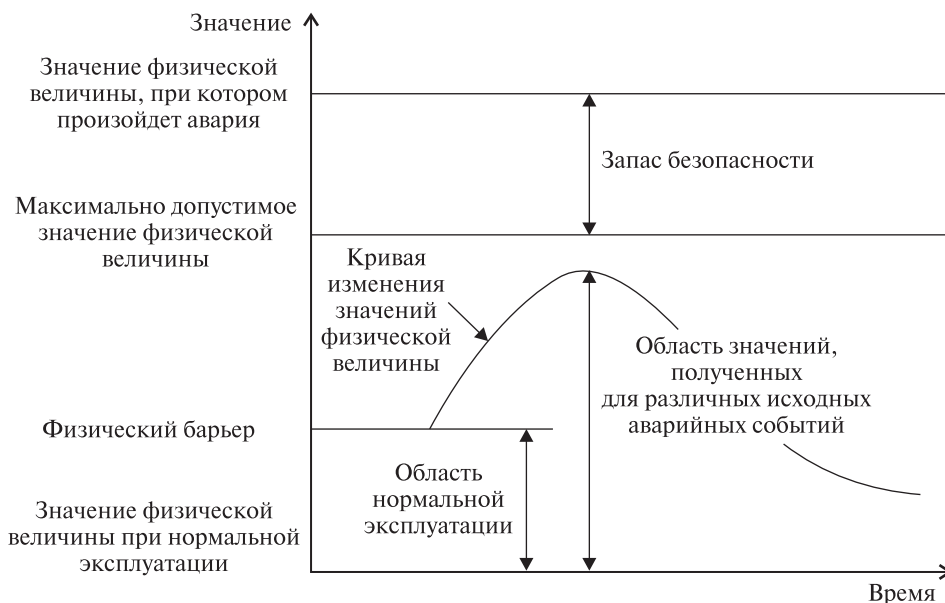


Рис. 2. Физический смысл запаса безопасности

*Уровень 4.* Предотвращение развития аварии.

*Уровень 5.* Смягчение последствий аварии.

Запас безопасности — второй консервативный принцип высокого уровня — разница между значением, соответствующим наступлению отказа системы либо компонента, и значением данной величины в условиях нормальной эксплуатации, выраженная в единицах измерения определённой физической величины, характеризующей физические процессы (рис. 2). Обеспечение запасов безопасности достигается в уровнях: система — подсистема — комплектующие элементы.

Основным достоинством детерминистического подхода является наличие большой методологической базы и огромного опыта его применения во всём мире. К недостаткам детерминистического подхода можно отнести то, что подход сфокусирован на рассмотрении максимально тяжёлых аварий, в результате чего возможна ситуация, при которой обеспечивается высокая защищённость технической системы от одних типов исходных аварийных событий и недостаточная защищённость от других типов событий. Также при детерминистическом анализе невозможно дать количественную оценку и четкое обоснования «слабых» мест проекта.

Использование только детерминистического подхода для анализа безопасности ракетно-космической техники будет недостаточным для демонстрации достижения высокого уровня безопасности с учётом необходимой сбалансированности РН в части способности противостоять всем исходным аварийным событиям. Это заключение можно сделать по результатам ВАБ, которые демонстрируют, что некоторые составляющие безопасности не могут быть оценены и контролируемы с применением детерминистических методов.

### ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ

Вероятностный анализ безопасности является аналитическим методом оценки рисков. Методология ВАБ позволяет оценивать риски возможных аварий вследствие внутренних иницирующих событий (отказы систем или ошибками персонала) и внешних воздействий (природные явления, деятельность человека). То есть, ВАБ представляет собой инструмент, позволяющий выявлять наиболее уязвимые участки технической системы, которые требуют пристального внимания в рамках решения задачи повышения безопасности.

Сущность вероятностного подхода обеспечения безопасности состоит в выполнении трех-



Рис. 3. Схема выполнения вероятностного анализа безопасности

уровневого анализа, схематически представленного на рис. 3.

В общем случае в объеме исследования безопасности РН вероятностными методами должны быть учтены все возможные эксплуатационные состояния РН (подготовка к пуску, отмена пуска, штатный полет, аварийный полет) и весь спектр исходных событий и воздействий (внутренние иницирующие состояния, внешние воздействия). Однако отметим, что обычно ВАБ выполняется в гораздо меньшем объеме. Накладываемые в этом случае ограничения на область применения ВАБ должны быть известны и учтены.

Преимущества вероятностного подхода:

- вероятностный анализ безопасности позволяет определить, имеют ли какие-либо исходные события (отказы) больший, по сравнению с остальными, вклад в риск, и таким образом охарактеризовать сбалансированность проекта РН в части возможности противостоять всему рассматриваемому спектру событий.
- вероятностный анализ безопасности позволяет учесть взаимозависимости между раз-

личными уровнями глубокоэшелонированной защиты и оценить общий уровень реализации концепции глубокоэшелонированной защиты.

- определение значимости систем, элементов, оборудования с точки зрения их влияния на безопасность.

Недостатком вероятностного анализа является необходимость значительно большего, по сравнению с ДАБ, объема исходных данных. Также есть трудности, связанные с субъективизмом при моделировании некоторых аспектов, например моделировании зависимостей между единичными ошибками персонала.

#### ВЗАИМОСВЯЗЬ ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКОГО И ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА

При выполнении детерминистического анализа безопасности (например анализа проектных аварий) обычно рассматриваются исходные события, затрагивающие один или несколько физических барьеров, при этом в качестве единичного отказа рассматривается отказ в системах безопасности, который влияет на один или несколь-

ко уровней глубокоэшелонированной защиты. Назначением данного анализа является демонстрация того, что количество работоспособных физических барьеров и уровней ГЭЗ достаточно для успешного противодействия РН любому событию, рассматриваемому в проектных основах.

При выполнении ВАБ рассматриваются как проектные, так и запроектные аварии, и оценивается способность РН обеспечить приемлемо низкую вероятность тяжёлых последствий указанных событий. Результаты ВАБ предоставляют информацию о том, насколько эффективно и адекватно реализуется концепция ГЭЗ на РН. Данная информация может быть использована для оптимизации уровней глубокоэшелонированной защиты.

При определении запасов безопасности ВАБ и ДАБ взаимно дополняют друг друга в следующих аспектах.

- Данные подходы фокусируются на различных областях кривой риска (рис. 4):
  - ДАБ — область тяжёлых последствий и низких вероятностей;
  - ВАБ — область малых последствий и высоких вероятностей.
- Данные подходы акцентируют внимание на различных аспектах риска:
  - ДАБ в большей степени концентрируется на расчете последствий событий, вероятность возникновения которых определена качественным путем;
  - ВАБ в большей степени концентрируется на расчете частот событий, последствия которых определены качественным путем.

Применение интегрированного подхода к обеспечению безопасности рассмотрим на упрощенном примере системы наддува топливного бака РН, представленной на рис. 5. Будем считать, что основной параметр, характеризующий работоспособность системы наддува, — давление в газовой подушке.

Ограничения, накладываемые на этот параметр, определяются, с одной стороны, характеристиками двигательной установки и прочностными свойствами бака, с другой — выход его значения за установленные пределы недопустим с точки зрения безопасности.



Рис. 4. Взаимодополнение вероятностного анализа безопасности и детерминистического анализа безопасности

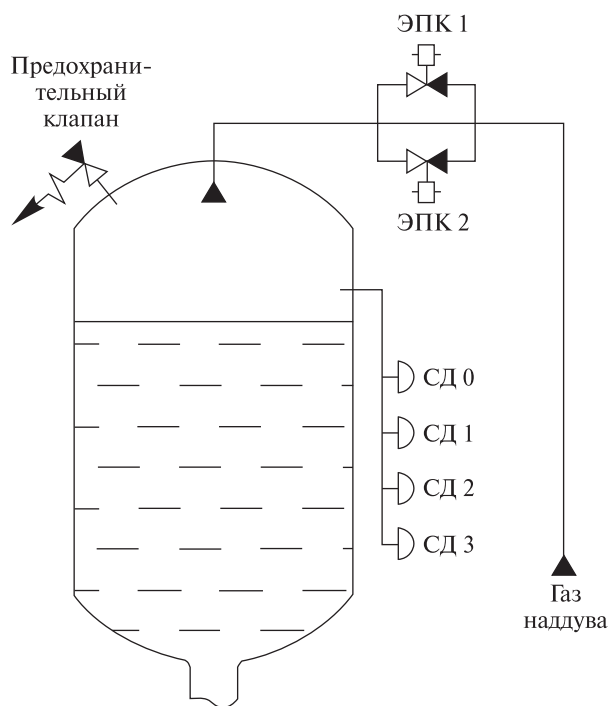


Рис. 5. Схема системы наддува топливного бака

Диаграмма функционирования системы наддува приведена на рис. 6. Видно, что максимальные и минимальные расчетные давления соответственно ниже давления разрушения бака и выше требуемого для штатной работы двигательной установки.

Система наддува функционирует следующим образом. Газ наддува от бортовых источников

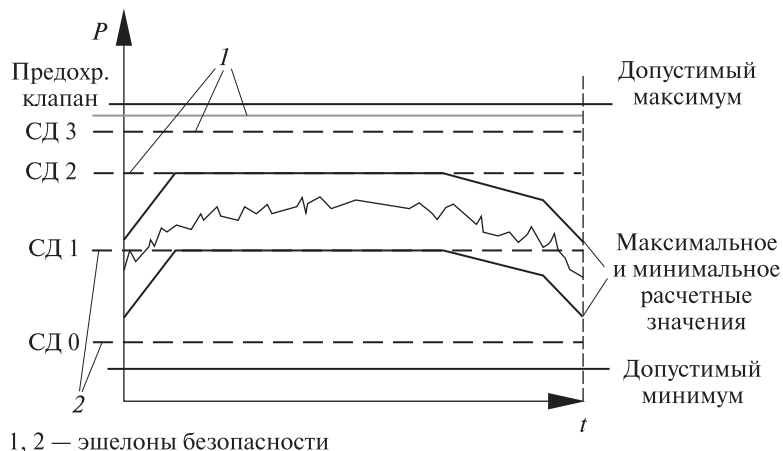


Рис. 6. Диаграмма функционирования системы наддува

подается в топливный бак, создавая требуемое давление на входе в двигательную установку. При срабатывании сигнализатора давления СД1 (минимальное расчетное значение), включается основной электропневмоклапан наддува (ЭПК1) и осуществляется наддув. При повышении давления до максимального расчетного значения срабатывает сигнализатор СД2 и подается команда на выключение ЭПК основного наддува.

В рассматриваемом примере нештатное функционирование (критерий отказа) состоит в отклонении давления от допустимых пределов. Реализация консервативных принципов обеспечения безопасности состоит в следующем. Предотвращение повышения давления выше допустимого в случае отказа СД2 парируется срабатыванием сигнализатора СД3, дублирующего команду на выключение ЭПК1. В случае одновременного отказа СД2, СД3 безопасное функционирование (отсутствие разрушения) обеспечивается срабатыванием предохранительного клапана.

Предотвращение снижения давления ниже допустимого в случае отказа сигнализатора СД1 парируется сигнализатором СД0, а функционирование ЭПК1 дублируется резервным ЭПК2.

Таким образом, диаграммы на рис. 6 иллюстрируют предотвращение аварий — обеспечение безопасности установлением физических барьеров:

— от разрушения бака внутренним давлением обеспечивается тремя «эшелонами» защиты;

— от нештатной работы двигательной установки, вследствие снижения давления на его входе ниже допустимого обеспечивается двумя «эшелонами» защиты.

Наличие физических барьеров в виде сигнализаторов давления, основного и резервного электропневмоклапанов регулирующих наддув, а также предохранительного клапана, сбрасывающего давление из бака, обеспечивают глубоко-эшелонированную защиту.

Следует отметить, что резервирование — введение аппаратной избыточности за счет включения запасных (резервных) элементов и связей, дополнительных по сравнению с минимально необходимым для выполнения заданных функций в данных условиях работы. Резервирование ведет к повышению массы конструкции, что является критичным для ракетно-космической техники, поэтому важно установить те критичные элементы систем, для которых резервирование является необходимым. Помимо резервирования применяется частичное дублирование функций, при котором наиболее критичные функции одного агрегата могут быть выполнены другим агрегатом. Кроме того, обычно дублирующие и резервные элементы на отдельных этапах эксплуатации выполняют другие основные функции.

Обоснование объема средств контроля подразумевает выбор минимально достаточного, с точки зрения обеспечения безопасности, набо-

ра средств контроля работы систем РН. К таким средствам можно отнести сигнализаторы минимальных и максимальных значений, сигнализаторы и датчики, необходимые для управления агрегатами автоматики.

Оценить достаточность реализованных консервативных принципов обеспечения безопасности позволяют методы вероятностного анализа.

Вероятностный анализ предполагает, что на этапе предпроектной проработки установлены категории тяжести и вероятности возникновения нештатных ситуаций, а также допустимые уровни рисков.

Приняв в рассматриваемом примере показатель безотказности элементов системы наддува не ниже 0.999, можем оценить достаточность принятых проектно-конструкторских решений по обеспечению безопасности.

Для рассматриваемого примера оценим вероятность наступления следующих аварий:

- 1) разрушение бака внутренним давлением;
- 2) нештатная работа двигательной установки.

Проанализируем полную группу несовместных событий, которые могут привести к первой аварии. Матрица несовместных событий приведена на рис. 7 (здесь  $A$  — работоспособное состояние элемента,  $\bar{A}$  — неработоспособное состояние элемента; серым цветом выделены события, приводящие к возникновению аварийной ситуации).

Отказ ЭПК наддува в рамках анализа данной аварийной ситуации не рассматривался, так как

$A_{CD2}$	$A_{CD3}$	$A_{ПК}$
$\bar{A}_{CD2}$	$A_{CD3}$	$A_{ПК}$
$A_{CD2}$	$\bar{A}_{CD3}$	$A_{ПК}$
$A_{CD2}$	$A_{CD3}$	$\bar{A}_{ПК}$
$\bar{A}_{CD2}$	$\bar{A}_{CD3}$	$A_{ПК}$
$\bar{A}_{CD2}$	$A_{CD3}$	$\bar{A}_{ПК}$
$A_{CD2}$	$\bar{A}_{CD3}$	$\bar{A}_{ПК}$
$\bar{A}_{CD2}$	$\bar{A}_{CD3}$	$\bar{A}_{ПК}$

Рис. 7. Матрица несовместных событий вследствие нештатной работы бака

ЭПК по умолчанию закрыт, и его отказом может быть только неоткрытие. То есть отказ ЭПК не может привести к росту давления и к разрушению бака. К разрушению бака внутренним давлением может привести одновременный отказ сигнализаторов давления СД2 и СД3 и предохранительного клапана. Вероятность этого события равна  $P_1 = (1 - 0.999)^3 = 10^{-9}$ .

Аналогично проводится анализ возможности возникновения аварии вследствие нештатной работы двигательной установки. Матрица несовместных событий в этом случае приведена на рис. 8 (серым цветом выделены события, приводящие к возникновению аварийной ситуации).

Вероятность нештатной работы двигательной установки и возникновения нештатной ситуации будет равна сумме вероятностей возникновения событий, приводящих к возникновению данной аварийной ситуации:

$A_{CD0}$	$A_{CD1}$	$A_{ЭПК1}$	$A_{ЭПК2}$
$\bar{A}_{CD0}$	$A_{CD1}$	$A_{ЭПК1}$	$A_{ЭПК2}$
$A_{CD0}$	$\bar{A}_{CD1}$	$A_{ЭПК1}$	$A_{ЭПК2}$
$A_{CD0}$	$A_{CD1}$	$\bar{A}_{ЭПК1}$	$A_{ЭПК2}$
$A_{CD0}$	$A_{CD1}$	$A_{ЭПК1}$	$\bar{A}_{ЭПК2}$
$\bar{A}_{CD0}$	$\bar{A}_{CD1}$	$A_{ЭПК1}$	$A_{ЭПК2}$
$\bar{A}_{CD0}$	$A_{CD1}$	$\bar{A}_{ЭПК1}$	$A_{ЭПК2}$
$\bar{A}_{CD0}$	$A_{CD1}$	$A_{ЭПК1}$	$\bar{A}_{ЭПК2}$
$A_{CD0}$	$\bar{A}_{CD1}$	$\bar{A}_{ЭПК1}$	$A_{ЭПК2}$
$A_{CD0}$	$\bar{A}_{CD1}$	$A_{ЭПК1}$	$\bar{A}_{ЭПК2}$
$A_{CD0}$	$A_{CD1}$	$\bar{A}_{ЭПК1}$	$\bar{A}_{ЭПК2}$
$\bar{A}_{CD0}$	$\bar{A}_{CD1}$	$\bar{A}_{ЭПК1}$	$A_{ЭПК2}$
$\bar{A}_{CD0}$	$\bar{A}_{CD1}$	$A_{ЭПК1}$	$\bar{A}_{ЭПК2}$
$\bar{A}_{CD0}$	$A_{CD1}$	$\bar{A}_{ЭПК1}$	$\bar{A}_{ЭПК2}$
$A_{CD0}$	$\bar{A}_{CD1}$	$\bar{A}_{ЭПК1}$	$\bar{A}_{ЭПК2}$
$\bar{A}_{CD0}$	$\bar{A}_{CD1}$	$\bar{A}_{ЭПК1}$	$\bar{A}_{ЭПК2}$

Рис. 8. Матрица несовместных событий вследствие нештатной работы двигательной установки

$$P_2 = 2 \cdot 0.999^2 (1 - 0.999)^2 + 4 \cdot 0.999 (1 - 0.999)^3 + (1 - 0.999)^4 = 2 \cdot 10^{-6}.$$

На основе сравнения расчетных значений вероятности наступления аварий с допустимыми значениями, установленными в контракте, принимается решение о достаточности принятых проектно-конструкторских решений по обеспечению безопасности. В случае недостаточности или избыточности принятых решений проводится оптимизация мер, направленных на обеспечение безопасности, после чего выполняются дополнительные итерации вероятностного и детерминистического анализа.

Подобным образом проводятся детерминистический и вероятностный анализ безопасности для всех функциональных систем и конструкций РН в иерархической последовательности.

Наряду с разработкой конструктивно-компоновочной и принципиальных схем РН и ее систем, определением их характеристик и пределов их изменений, а также выполнения анализа отказов и оценки вероятностных характеристик выполняется анализ потенциальных опасностей, который включает в себя:

— определение и анализ опасных операций на всех этапах эксплуатации РН;

— идентификацию потенциальных угроз, связанных с особенностями конструкции, применяемыми компонентами топлива и сжатыми газами, а также с нештатными условиями эксплуатации, обусловленными природными условиями или человеческим фактором;

— анализ экологической безопасности.

При этом анализ проводится до уровня отдельной операции для всех сценариев штатного и нештатного функционирования, включая реализацию выполнения операции при АПП и АВД на всех этапах эксплуатации РН.

По результатам анализа принимаются необходимые конструктивные решения, направленные на снижение вероятностей отказов, корректировку режимов функционирования, назначение

мероприятий по предотвращению или снижению рисков возникновения опасностей.

Далее оцениваются значения рисков и оценивается достаточность принятия мер по обеспечению безопасности.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, проведенный анализ применяемых методов обеспечения безопасности РН при выполнении проектно-конструкторских работ показал следующее.

1. Показана возможность создания интегрированного подхода путем взаимного дополнения методов детерминистического и вероятностного анализа. При этом достаточность или избыточность реализуемых консервативных принципов детерминистического анализа определяется вероятностным подходом.

2. Представленный в статье подход обеспечения безопасности РН основан на комплексном и системном подходе, позволяет выполнить анализ и провести расчетные работы для всех этапов эксплуатации, применяя детерминистический и вероятностный анализ.

3. На примере системы наддува подтверждена достаточность применяемых методов обеспечения безопасности.

4. Разработанный подход к обеспечению безопасности применяется на ГП «КБ «Южное» им. М. К. Янгеля», подтвердил свою обоснованность в ряде международных проектов.

5. Дальнейшее совершенствование методов обеспечения безопасности ракетно-космической техники должно быть основано на адаптации и модернизации подходов, подтвердивших свою состоятельность в передовых отраслях промышленности; формировании интегрирующих методов, объединяющих достоинства известных методов и позволяющих существенно сократить громоздкость каждого из них за счет последовательного анализа выбранной на предыдущем этапе информации.



1. *An approach for using probabilistic risk assessment in risk-informed decisions on plant-specific changes to the licensing basis*, Regulatory Guide 1.174, Revision 1, US NRC, Rockville, MD. — 2002. — 30 p.
2. *Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants*. 75-IN-SAG-3. — Vienna: IAEA, 1999. — 105 p.
3. *Defense in Depth in Nuclear Safety*. INSAG Series 10. — Vienna: IAEA, 1996. — 33 p.
4. *Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants*. TECDOC DS394. Draft. — Vienna: IAEA, 2007. — 166 p.
5. *IAEA Safety Glossary*. Terminology used in nuclear safety and radiation protection. — Vienna: IAEA, 2007. — 277 p.
6. *Safety Assessment and Verification for Nuclear Power Plants*. Safety Guide. — Vienna: IAEA, 2001. — 83 p.
7. *Safety Margins for Operating Reactors*. TECDOC-1332. — Vienna: IAEA, 2003. — 143 p.
8. *Vbranich I*. Relationship between the deterministic analysis and the PSA in addressing safety margins and defense in depth // Regional Technical Meeting on Combining Probabilistic Safety Assessment and Deterministic Analysis. RER/9/095. — Budapest, Hungary, 11 — 15 May, 2009. — (Presentation).

Стаття надійшла до редакції 09.09.15

#### REFERENCES

1. *An approach for using probabilistic risk assessment in risk-informed decisions on plant-specific changes to the licensing basis*, Regulatory Guide 1.174, Revision 1, US NRC, 30 p. (Rockville, MD, 2002).
2. *Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants*. 75-IN-SAG-3, 105 p. (IAEA, Vienna, 1999).
3. *Defense in Depth in Nuclear Safety*. INSAG Series 10, 33 p. (IAEA, Vienna, 1996).
4. *Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants*. TECDOC DS394. Draft, 166 p. (IAEA, Vienna, 2007).
5. *IAEA Safety Glossary*. Terminology used in nuclear safety and radiation protection, 277 p. (IAEA, Vienna, 2007).
6. *Safety Assessment and Verification for Nuclear Power Plants*. Safety Guide, 83 p. (IAEA, Vienna, 2001).
7. *Safety Margins for Operating Reactors*. TECDOC-1332, 143 p. (IAEA, Vienna, 2003).
8. *Vbranich I*. Relationship between the deterministic analysis and the PSA in addressing safety margins and defense in depth. Regional Technical Meeting on Combining Probabilistic Safety Assessment and Deterministic Analysis. RER/9/095. Budapest, Hungary, 11 — 15 May, 2009. (Presentation).

*В. А. Демченко*

Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля», Дніпропетровськ

#### ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКІ АСПЕКТИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ РАКЕТ-НОСІЇВ

Безпека ракет-носіїв та виконання зростаючих вимог до її забезпечення — актуальна проблема, вирішення якої вважається однією із основних умов підвищення конкурентоспроможності на ринку пускових послуг. У роботі розглянуто детерміністичний та імовірнісний підходи, які широко застосовуються для забезпечення безпеки технічних систем та промислових об'єктів. Кожен підхід має свої переваги та недоліки. Розглядається можливість створення інтегрованого підходу, що об'єднує переваги обох підходів. Наведено приклад застосування єдиного підходу для аналізу безпеки спрощеної системи наддування баку ракети-носія. Підтверджено, що запропонований підхід є придатним для забезпечення безпеки ракетно-космічної техніки.

**Ключові слова:** забезпечення безпеки, ракета-носій, детерміністичний підхід, імовірнісний підхід, оцінка ризиків, запас безпеки, глибокошелюнований захист, наддування баку.

*V. A. Demchenko*

Yangel Yuzhnoye State Design Office,  
Dnipropetrovsk

#### DESIGN ASPECTS OF ENSURING THE SAFETY OF A LAUNCH VEHICLE OPERATION

The safety of a launch vehicle and implementation of the increased requirements for its assurance — is an actual problem, and its viable solution can give a competitive advantage in the launch services market. The paper discusses the deterministic and probabilistic approaches, which are widely used to ensure the safety of technical systems and industrial facilities. We consider the possibility of creating an integrated approach that combines advantages of the both. As an example, we discuss its application on the safety analysis of the simplified pressurization system of the launch vehicle's propellant tank. It is confirmed that the proposed approach can be applied to ensure the safety of rocket and space hardware.

**Key words:** safety assurance, launch vehicle, deterministic approach, probabilistic approach, risk estimate, safety margin, defense-in-depth, tank pressurization.