

УДК 621.6 : 681.5

Е. В. Шитикова¹, канд. техн. наук Г. В. Табунщик²¹АО «Мотор Сич», ²Запорожский национальный технический университет; г. Запорожье

АНАЛИЗ РИСКОВ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК НАЗЕМНОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Рассмотрены вопросы надежности и функциональной безопасности газотурбинных установок наземного применения. Предложена интегрированная модель рисков, объединяющая макро- и микромоделли. Выполнена детализация моделей рисков и определены соотношения между их компонентами. Проведено ранжирование рисков.

Ключевые слова: газотурбинные установки наземного применения, надежность, безопасность, модель рисков, опасность, контрмеры, функции безопасности, ранжирование.

Введение

Обеспечение надежности и безопасности производственных объектов представляет собой весьма сложную техническую задачу, решение которой невозможно без исследования надежности и безопасности технических систем, эксплуатируемых на этих объектах.

С позиций безопасности задачи исследования технических систем заключаются в том, чтобы увидеть, каким образом элементы системы функционируют в системе во взаимодействии с другими ее частями и по каким причинам может произойти отказ, грозящий негативными последствиями. Все это, в полной мере, относится и к газотурбинным установкам (ГТУ) наземного применения (НП). Ведь, как известно, наземные ГТУ рассматриваются эксплуатирующими организациями как установки непрерывного действия, обеспечивающие бесперебойную работу в течение длительного, насколько это возможно, промежутка рабочего времени. Таким образом, останов работающей установки или некорректная ее работа (недостижение заложенных расчетных характеристик, работа на ограничительных пределах параметров и т.д.) является крайне нежелательным событием [1]. В случае, если это все же произошло, то время на поиски и устранение причин отказа и, следовательно, на введение установки в дальнейшую эксплуатацию должно быть минимальным. Следовательно, повышение надежности ГТУ НП является актуальной задачей.

Постановка задачи

Оценка надежности и безопасности различных систем предусмотрена требованиями государственных и международных стандартов, а также требованиями нормативных документов. Готовность организаций и предприятий, разрабатывающих и эксплуатирующих различные организационные и технические системы объектов современной промышленности, выполнять ана-

лиз их надежности и безопасности является обязательным условием государственной и международной сертификации. Главная цель такого анализа — своевременное получение достоверной информации о свойствах надежности и безопасности систем, необходимой для выработки, обоснования и реализации эффективных проектных и эксплуатационных решений [2].

Количественной мерой надежности, безопасности, качества систем и объектов может служить риск. Риск также является количественной оценкой неуспеха таких процессов и действий как проектирование, доводка и отладка, испытания, эксплуатация и т. д. [3].

Целью данной работы является проведение анализа рисков в системе надежности ГТУ НП.

Для достижения данной цели необходимо провести анализ документации в области надежности технических систем, в частности для ГТУ НП; необходимо разработать базовую модель рисков для ГТУ НП; провести детализацию компонентов базовой модели рисков; определить соотношения между компонентами базовой модели рисков; провести качественный анализ рисков ГТУ НП.

Анализ стандартов в области надежности технических систем

Был проведен анализ стандартов в области надежности и определены основные понятия [4]. Стандарты, содержащие положения по управлению надежностью изделий, представлены в таблице 1.

Для газотурбинных установок наземного применения требования безопасности и надежности также регламентированы ГОСТ и/или ТУ на изделие каждого вида [4].

При анализе и прогнозировании надежности технических систем важное место занимает риск-ориентированная методология. Основные стандарты на эту тему представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Основные стандарты по надежности

Вид стандартов	Стандарты
Международные стандарты	Серия стандартов ГОСТ 27.XXX системы «Надежность в технике»; ISO 3977-9:1999 и ISO 21789:2009 – надежность и безопасность газовых турбин
Стандарты Украины	ДСТУ 2860-94, ДСТУ 2864-94, ДСТУ 3004-95, ДСТУ 3433-96, ДСТУ 3524-97 и др.

Таблица 2 – Основные стандарты по анализу и менеджменту рисков

Вид стандартов	Стандарты
Международные стандарты	ISO 12100:2010, ISO/TR 14121-2:2007, ISO 31000:2009, ISO/IEC 31010:2009
Стандарты Российской Федерации	Серия стандартов ГОСТ Р 51901 «Менеджмент риска»

Моделирование рисков

Проведенный анализ нормативной документации позволил разработать модель рисков для ГТУ НП. Уникальность данной модели состоит в том, что были выделены два уровня: верхний и нижний.

Верхний уровень – макромоделю рисков – является более общим и отражает риски для следующих активов:

- газотурбинной установки, включая все входящие функциональные системы и оборудование;
- обслуживающего персонала и окружающей среды;
- информации о работе установки, об испытаниях.

В базовой макромоделе рисков, приведенной на рисунке 1, был выделен уровень «Опасности», представляющий собой некое множество опасных событий, которое является источником для уровня Риски. Также был выделен уровень «Контрмеры», являющийся множеством управляющих воздействий, ведущих к снижению рисков.

**Рис. 1.** Базовая макромоделю рисков**Рис. 2.** Базовая микромоделю рисков

Для нижнего уровня разработана микромоделю рисков. Она отражает риски, влияющие на выполнение функций безопасности, которые были реализованы в качестве некоторых контрмер на уровне макромоделе. *Функции безопасности (ФБ)* – функции, сбой которых может привести к немедленному возрастанию рисков [5].

Данные ФБ реализованы в подсистемах безопасности (виброконтроль, пожарная и газовая безопасность) и системе автоматического управления (САУ), (рисунок 2).

Рассмотрим ФБ, которые выполняет САУ:

- оперативный контроль параметров работы установки и подача своевременной информации о ходе технологического процесса и состояния оборудования;
- контроль подсистем пожарной и газовой безопасности, подсистемы виброконтроля;
- работа защит основного и вспомогательно-технологического оборудования в случае возникновения аварийных ситуаций;
- регистрация и сохранность контролируемых параметров;
- блокирование некорректных действий оперативного персонала.

Интегрированная базовая модель рисков, объединяющая макро- и микромоделе, представлена на рисунке 3, где ФБ подсистем безопасности и САУ представляют собой одну из контрмер по снижению рисков для активов верхнего уровня. Аналогом активов для микромоделе являются выполняемые функции безопасности. Контрмерами по снижению рисков в микромоделе являются меры обеспечения целостности безопасности. Опасности, являющиеся источником ущерба для активов, могут представлять опасность и для выполнения функций безопасности.

Согласно рисунку 3 разница между макро- и микромоделею заключается в том, для каких активов обеспечивается безопасность.

Для разработанных базовых макро- и микромоделей рисков ГТУ НП была проведена детализация. Компоненты рассмотренных моделей рисков и соотношения между ними представлены в таблицах 3, 4.

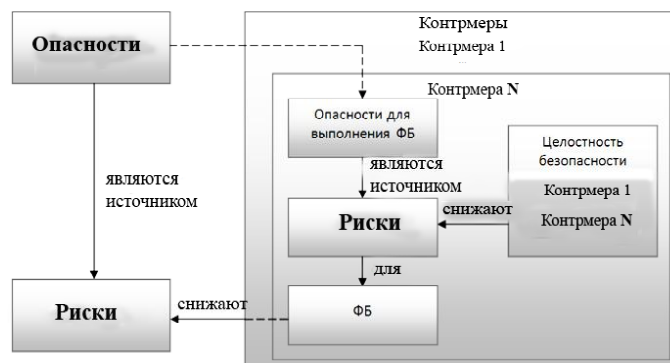


Рис. 3. Интегрированная базовая модель рисков

Таблица 3 – Компоненты макромоделли рисков и соотношения между ними

Опасности	Риски	Контрмеры	
1 Отказ или некорректная работа функциональных систем, оборудования или установки в целом	Риск ошибок проектирования (конструктивные ошибки)	Применение новейших технологий проектирования и контроль на всех этапах проектирования Апробация технических решений	
	Риск ошибок изготовления и/или монтажа установки (технологические ошибки)	Реализация процесса обеспечения качества	
	Риск ошибок функционирования	Применение высоконадежной элементной базы Применение средств технического диагностирования*	
	Риск физического отказа систем, оборудования или установки в целом		
2 Внешние воздействия	Риск отказа из-за: - климатического воздействия; - механических и сейсмических воздействий; - электромагнитных воздействий	Применение устойчивой элементной базы и физическая защита Обеспечение эксплуатации установки в проектных климатических условиях	
	Риск отказа из-за нарушения параметров электропитания	Переключение на резервные источники питания*	
	Риск отказа из-за пожара	Применение негорючих материалов Применение средств контроля, сигнализации и пожаротушения* Соблюдение правил пожарной безопасности персоналом	
		Риск отказа из-за утечек топливного/магистрального газа	Применение средств сигнализации Применение взрывобезопасного оборудования Соблюдение правил пожарной безопасности персоналом
		Риск отказа из-за осознанных опасных действий или бездействий персонала	Защита от несанкционированного доступа (организационная, физическая, программная*)
	Риск отказа из-за ошибок или незнания персонала	Реализация мер по защите от ошибок персонала (маркировка, обучение и т.д.) Разграничение средств автоматического и ручного управления*	
	3 Опасность нанесения вреда окружающей среде и/или персоналу	Риск нанесения существенного или незначительного вреда окружающей среде и/или персоналу	Реализация мер по защите от чрезвычайных ситуаций (АО, НО, ЭО – аварийный, нормальный и экстренный останovy)*

Оценивание рисков

Разработанные модели рисков были использованы в качестве основы для проведения качественного оценивания рисков.

Из-за недостатка статистических данных об отказах и авариях ГТУ НП в виду их мелкосерийного производства, влияния человеческого фактора и т.д.

для оценивания рисков было выбрано качественное ранжирование риска специалистами АО «Мотор Сич», хорошо информированными в данной области.

Для этого первоначально были определены и описаны категории рисков – ранги. Как видно из таблицы 5 было выделено четыре ранга от неприемлемого риска до пренебрежимо малого

риска. После была построена матрица рисков для ГТУ НП, где в наименованиях строк и столбцов представлены лингвистические значения частоты опасных событий и их последствий, а в ячейках матрицы – ранги (таблица 6).

Группа экспертов провела оценивание рисков для ГТУ НП, выделенных на этапе детализации базовых макро- и микромоделей рисков ГТУ НП, после была вычислена усредненная оценка [6], данная всеми экспертами по каждому из рисков. Результаты проведенного анализа приведены в таблице 7.

Для проверки достоверности экспертных оценок был проведен анализ согласованности мнений экспертов [6].

Поскольку необходимо было выявить согласованность мнений экспертов по нескольким альтернативам, то оценивание проводилось с помощью коэффициента конкордации, т. е. общего коэффициента ранговой корреляции для группы, состоящей из некоторого числа экспертов.

Коэффициент конкордации составил 0,84, который при дальнейшей проверке подтвердил свою значимость (критерий χ -квадрат составил 67,4, что больше его табличного значения).

Результаты экспертной оценки показали:

- ни один из приведенных выше рисков не принадлежит к категории неприемлемого риска;
- риск отказа из-за климатического воздействия пренебрежимо мал;
- все остальные риски поровну разделились между рангами II и III.

Поэтому при реализации контрмер, ведущих к снижению рисков и выделенных на этапе детализации базовых макро- и микромоделей рисков ГТУ НП, особое внимание необходимо уделить тем из них, которые снижают риски ранга II.

Выводы

В ходе проведенной работы был выполнен анализ нормативной документации в области надежности технических систем, в частности для ГТУ НП. Были разработаны базовые макро- и микромоделей рисков, а также интегрированная модель рисков ГТУ НП.

На уровне макромоделей были выполнены следующие действия по анализу рисков:

- выделены активы, требующие обеспечения безопасности;
- проведен анализ опасностей для активов;
- определены недопустимые риски и контрмеры по их снижению.

Таблица 4 – Компоненты микромоделей рисков и соотношения между ними

Опасности для выполнения ФБ	Риски для ФБ	Меры по обеспечению целостности безопасности
1 Физический отказ аппаратных средств подсистем безопасности и САУ	Риск физического отказа аппаратных средств	Применение высоконадежной элементной базы
		Структурная и функциональная избыточность
		Реконфигурация
		Соблюдение принципа единичного отказа
		Гальваническое и физическое разделение элементов
2 Нарушения качества выполнения ФБ	Риск отказа из-за неточности измерений	Метрологическое обеспечение
	Риск отказа из-за нарушения временных характеристик	Временная, информационная и ресурсная избыточность
		Применение элементной базы с высокими временными характеристиками
3 Опасность потери информации о работе установки (тренды работы)	Риск потери информации	Реализация мер по защите информации

Таблица 5 – Ранги рисков

Ранги рисков	Описание рангов рисков
I	Неприемлемый риск
II	Нежелательный риск, который может быть приемлемым только, если снижение риска непрактично и ведет к непропорциональному увеличению затрат по сравнению с достигнутым улучшением
III	Приемлемый риск, если затраты на снижение риска не превышают достигнутых улучшений
IV	Пренебрежимый риск

Таблица 6 – Матрица рисков

Вероятность события	Последствия события			
	Катастрофические	Критические	Средние	Незначительные
с большой долей вероятности	I	I	I	II
возможное событие	I	II	II	III
маловероятное событие	II	II	III	IV
невероятное (крайне маловероятное)	III	III	IV	IV

Таблица 7 – Оценивание рисков для ГТУ НП

Риски для ГТУ НП	Ранг
1 Риск ошибок проектирования (конструктивные ошибки)	II
2 Риск ошибок изготовления и/или монтажа установки (технологические ошибки)	II
3 Риск ошибок функционирования	III
4 Риск физического отказа систем, оборудования или установки в целом	III
5 Риск отказа из-за климатического воздействия	IV
6 Риск отказа из-за механических и сейсмических воздействий	III
7 Риск отказа из-за электромагнитных воздействий	III
8 Риск отказа из-за нарушения параметров электропитания	II
9 Риск отказа из-за пожара	II
10 Риск отказа из-за утечек топливного/магистрального газа	III
11 Риск отказа из-за осознанных опасных действий или бездействий персонала	II
12 Риск отказа из-за ошибок или незнания персонала	II
13 Риск нанесения существенного или незначительного вреда окружающей среде и/или персоналу	II
14 Риск физического отказа аппаратных средств	II
15 Риск отказа из-за неточности измерений	III
16 Риск отказа из-за нарушения временных характеристик	III
17 Риск потери информации	III

На уровне микромоделей:

- определены функции системы безопасности ГТУ НП;

- проведен анализ опасностей для выполнения ФБ;

- определены недопустимость рисков и мер по обеспечению целостности безопасности.

Разработанная модель рисков была использована в качестве основы для ранжирования рисков ГТУ НП. В рамках качественного оценивания группой экспертов было проведено ранжирование рисков, выделенных на этапе детализа-

ции базовых макро- и микромоделей рисков ГТУ НП. Экспертная информация проверена на предмет согласованности.

Результаты работы в дальнейшем будут использованы в качестве основы для количественной оценки рисков ГТУ НП на макро- и микроуровне, в первую очередь, рисков ранга II.

Список литературы

1. Шитикова Е. В. Исследование проблем повышенной вибрации газотурбинных приводов в эксплуатации : тезисы докладов II международного молодежн. научн.-техн. конф. авиаторостроительной отрасли, Алушта, 12–16 мая 2008 г. «Молодежь в авиации : новые решения и передовые технологии». – Запорожье : ОАО «Мотор Сич», 2008. – С. 180–182.
2. Рябинин И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем / Рябинин И. А. – СПб. : Политехника, 2000. – 248 с.
3. Соложенцев Е. Д. Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике / Соложенцев Е. Д. ; [2-е изд.]. – СПб. : Издательский дом. Бизнес-пресса, 2006. – 530 с.
4. Шитикова Е. В. Моделирование рисков в системе надежности газотурбинных установок наземного применения / Е. В. Шитикова, Г. В. Табунщик // Складні системи і процеси. – 2011. – № 1. – С. 3–9.
5. ISO 12100:2010 Safety of machinery – General principles for design – Risk assessment and risk reduction – 77 p.
6. Ранжирование рисков газотурбинных установок наземного применения. Risks ranges estimates for gas turbine unit for terrestrial using / [Е. В. Шитикова, Г. В. Табунщик, В. П. Митин, В. И. Морозов] // Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах : тр. междунар. научн. школы МАБР-2011. – СПб. : ГУАП, 2011. – С. 286–288.

Поступила в редакцию 27.09.2011

Шитикова О.В., Табунщик Г.В. Аналіз ризиків газотурбінних установок наземного використання

Розглянуті питання надійності та функціональної безпеки газотурбінних установок наземного використання. Запропонована інтегрована модель ризиків, що об'єднує макрота мікромодель. Виконана деталізація моделей ризиків і визначені співвідношення між їх компонентами. Проведено ранжування ризиків.

Ключові слова: газотурбінні установки наземного використання, надійність, безпека, модель ризиків, небезпека, контрмери, функції безпеки, ранжування ризиків.

Shitikova E., Tabunschik G. Risk analysis of gas turbine installations for terrestrial applications

The article deals with the questions of reliability and functional safety of the gas turbine units for terrestrial using. Risk makro- and micro-model of the gas turbine units for terrestrial using are developed by authors. An integrated risk model that combines macro- and micro-model is proposed. Detailed risk models are performed and the ratios between their components are defined. Ranging of risks is spent.

Key word: gas turbine unit for terrestrial using, reliability, safety, risk model, hazard, countermeasures, safety function, ranging of risks.