

УПРАВЛІННЯ У ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

CONTROL IN TECHNICAL SYSTEMS

УДК 519.248 : 621.311.238

Шитикова Е. В.¹, Табунцик Г. В.²

¹Аспирант кафедри програмних засобів Запорозького національного технічного університету, Запорозьке, Україна

²Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри програмних засобів Запорозького національного технічного університету, Запорозьке, Україна

МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬЮ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННЫХ РЕСУРСОВ

Рассмотрены вопросы надежности и функциональной безопасности газотурбинных установок наземного применения. Проведена формализация ранее разработанных моделей рисков газотурбинных установок наземного применения и их процессов. Предложен метод управления неопределенностью сложных технических систем и их процессов в условиях ограниченных ресурсов, основанный на методе оценки рисков и методе выбора контрмер, что позволяет сформировать область критичных рисков для исследуемой сложной технической системы. Усовершенствован метод выбора контрмер из альтернативных вариантов, основанный на методе анализа иерархий и методе приемлемого риска ALARP, поскольку применение контрмер осуществляется за счет реально имеющихся (ограниченных) ресурсов. Проведена классификация контрмер по времени применения и по объекту воздействия. Выделенные типы послужили критерием сравнения при выборе контрмер из альтернативных вариантов. Создана сводная таблица соотношения контрмер различных типов. Метод выбора контрмер из альтернативных вариантов позволяет сделать вывод в условиях ограниченных ресурсов и дать экономически обоснованную оценку при принятии решения об уровне приемлемого риска. Полученные методы апробированы для оценки рисков процесса испытаний газотурбинных установок наземного применения.

Ключевые слова: газотурбинные установки наземного применения, модель рисков, метод управления неопределенностью, метод выбора контрмер.

НОМЕНКЛАТУРА

ALARP – «as low as reasonably practicable» – принцип приемлемого риска;

ГТУ НП – газотурбинная установка наземного применения;

СТС – сложная техническая система;

A – множество атрибутов гиперкуба;

A_{d_i} – множество атрибутов измерения d_i ;

$A_{d_i \text{ macro}}$ – множество атрибутов измерения d_i на макроуровне;

$A_{d_i \text{ micro}}$ – множество атрибутов измерения d_i на микроуровне;

$A'_{d_i \text{ macro}}$ – множество атрибутов измерения d_i для среза $M'_{R \text{ macro}}$;

$A'_{d_i \text{ micro}}$ – множество атрибутов измерения d_i для среза $M'_{R \text{ micro}}$;

$A'_{d3 \text{ alt}}$ – множество, содержащее только группы альтернативных контрмер из множеств $A'_{d3 \text{ macro}}$ и $A'_{d3 \text{ micro}}$;

$A'_{d3 \text{ mod}}$ – модифицированное множество $A'_{d3 \text{ alt}}$, содержащее перечень контрмер, рекомендованных к применению;

a_g^i – g -й элемент множества атрибутов измерения d_i ;

$Asset$ – множество активов, представляющих ценность для СТС;

D – множество измерений гиперкуба;

d_i – i -е измерение гиперкуба;

$H(D, A)$ – гиперкуб данных;

$H_{\text{macro}}(D_{\text{macro}}, A_{\text{macro}})$ – гиперкуб данных макроуровня;

$H_{\text{micro}}(D_{\text{micro}}, A_{\text{micro}})$ – гиперкуб данных микроуровня;

h – булева переменная для атрибута a_g^3 , равная 0, если контрмера не имеет альтернативных вариантов, и равная 1, если имеет;

k – относительные веса каждой из контрмер множества $A'_{d3 \text{ alt}}$;

k_g – относительные веса g -й контрмеры для атрибута a_g^3 ;

k' – степень компенсации риска от применения контрмеры;

k'_g – степень компенсации риска от применения g -й контрмеры для атрибута a_g^3 ;

$L(a_g^2)$ – возможный ущерб от наступления g -го риска для атрибута a_g^2 ;

$L(a_g^3)$ – затраты на реализацию g -й контрмеры для атрибута a_g^3 ;

M_R – модель рисков СТС;

M_{Rang} – матрица рисков;

$M_{R\ macro}$ – макромодель рисков;

$M'_{R\ macro}$ – срез макромодели рисков;

$M_{R\ micro}$ – микромодель рисков;

$M'_{R\ micro}$ – срез микромодели рисков;

na_g^2 – наименование g -го риска для атрибута a_g^2 ;

na_g^3 – наименование g -й контрмеры для атрибута a_g^3 ;

nO – наименование СТС, для которой проводится оценка риска;

O – множество, характеризующее исследуемую СТС;

O' – множество, характеризующее исследуемую СТС с учетом управления неопределенностью в условиях ограниченных ресурсов;

R – интегрированная модель рисков;

R_{crit} – интегрированная модель критичных рисков;

$type_g$ – тип g -й контрмеры для атрибута a_g^3 ;

γ – множество рангов риска;

γ_g – ранг g -го риска для атрибута a_g^2 .

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение высокого качества, надежности и безопасности функционирования СТС является одной из важнейших научно-технических проблем. В современных условиях, характеризующихся напряженной экономической ситуацией, стратегической линией решения этой проблемы является дальнейшее развитие научных принципов комплексного повышения качества и надежности новой техники, внедрение перспективных технологий автоматизированного проектирования процесса производства с максимальным использованием их потенциальных возможностей и рационального использования всех видов ресурсов.

Готовность организаций и предприятий, разрабатывающих и эксплуатирующих различные СТС, выполнять анализ их надежности и безопасности является обязательным условием государственной и международной сертификации. Главная цель такого анализа – своевременное получение достоверной информации о свойствах надежности и безопасности СТС, необходимой для выработки, обоснования и реализации эффективных проектных и эксплуатационных решений. В настоящее время общепризнано, что надежность и безопасность СТС является одним из важнейших факторов их конкурентоспособности.

При обеспечении надежности СТС и их процессов немаловажное место занимает риск-ориентированная методология. При этом риск представляет собой комплекс неопределенностей, т.е. разного рода непредвиденных событий, нарушающих нормальную работу системы, связанных с состоянием техники, климатическими

условиями, настроением и здоровьем людей – теми факторами, на которые мы не всегда в силах повлиять. Повышение надежности за счет снижения риска имеет большое значение в производственной практике [1–4].

Процесс управления риском охватывает различные аспекты работы с риском, от идентификации и анализа риска до оценки его допустимости и определения потенциальных возможностей снижения риска посредством выбора, реализации и контроля соответствующих управляющих действий.

Объектом исследования данной работы является система надежности СТС, а предметом исследования – модели рисков ГТУ НП.

На сегодняшний день отсутствуют стандарты или другие нормативные документы, которые бы регламентировали оценку и управление рисками для таких СТС как ГТУ НП с учетом их специфики. Ранее авторами были разработаны модели рисков для ГТУ НП и для процесса испытаний данных установок [5, 6], однако формализованы данные модели не были. Поэтому актуальной является задача формализации моделей рисков ГТУ НП для дальнейшего их использования в процессе управления испытаниями ГТУ НП.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Пусть модель рисков СТС будет представлена в виде гиперкуба данных, где измерения гиперкуба – это компоненты моделей рисков. Под гиперкубом данных будем понимать множество ячеек, которым соответствуют множество измерений D и множество атрибутов A :

$$M_R = H(D, A), \quad (1)$$

где $D = \{d_1, d_2, \dots, d_i\}$ – например, для ГТУ НП измерений три, по числу компонентов в каждой из моделей рисков: d_1 – «Опасности», d_2 – «Риски», d_3 – «Контрмеры» [2, 3]:

$$A = A_{d1} \cup A_{d2} \cup \dots \cup A_{di};$$

$$A_{di} = \{a_1^i, a_2^i, \dots, a_g^i\}, \text{ где } i = 1, 2, \dots, i. \quad (2)$$

Для ГТУ НП каждой ячейке гиперкуба данных соответствует единственно возможный набор атрибутов измерений, содержащий данные об опасностях, рисках и контрмерах.

Интегрированная модель рисков [2, 3], опираясь на формулу (1), может быть представлена в виде следующего отношения:

$$R = M_{R\ macro} \cup M_{R\ micro},$$

где $M_{R\ macro} = H_{macro}(D_{macro}, A_{macro})$; $M_{R\ micro} = H_{micro}(D_{micro}, A_{micro})$.

Пусть задаче исследования соответствует некое множество O , характеризующее СТС, которое можно представить в виде:

$$O = \{nO, Asset, R\}. \quad (3)$$

При этом под активами $Asset$ будем понимать все доступные ресурсы, т.е. не только материальные ценности, но и временные ресурсы, а также нематериальные ресурсы, к которым можно отнести персонал и окружающую среду.

Однако не все риски несут одинаковую угрозу нанесения ущерба. Поэтому в условиях реально имеющихся (ограниченных) ресурсов возникает задача выделить такое отношение R_{crit} , содержащее только те ячейки гиперкубов, которым соответствуют критические риски:

$$R_{crit} = M'_{R macro} \cup M'_{R micro}$$

Срезы $M'_{R macro}$ и $M'_{R micro}$ формируются в результате фиксации ячеек соответствующих гиперкубов, содержащих наборы атрибутов измерений, в состав которых входят критические риски.

Тогда, модифицировав множество (3), получим множество O' , характеризующее СТС с учетом управления неопределенностью в условиях ограниченных ресурсов:

$$O' = \{nO, Asset, R_{crit}\} \quad (4)$$

2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Начальный импульс к созданию численных методов оценки надежности был дан авиационной промышленностью. После первой мировой войны в связи с увеличением интенсивности полетов и авиационных катастроф были выработаны критерии надежности для самолетов и требования к уровню безопасности [7, 8]. В дальнейшем методы надежности и оценки рисков разрабатывались по инициативе различных организаций и структур. Пионерами в данной области можно назвать работы по исследованию ракетных комплексов в Германии во время Второй мировой войны. Также велось развитие методов надежности для военной техники со стороны Министерства обороны США, в Великобритании разрабатывались анализ опасности (Trevor Kletz – ICI Ltd) и методы надежности (Green и Bourne – the UKAEA) [7]. Интенсивная работа по оценке риска, связанного с эксплуатацией атомных электростанций, была организована Комиссией по атомной энергии США и завершилась в 1977 г. выпуском отчета «WASH-1400. Анализ безопасности реактора» [7, 8]. Эти работы и многие другие сыграли свою роль и достойны внимания. Они способствовали повышению уровня информированности широкой общественности о потенциальных опасностях и подчеркнули необходимость в совершенствовании методов обеспечения надежности СТС и повышению их безопасности.

Задачи надежности и безопасности сложных технических систем рассматриваются в работах И. А. Рябина [9], А. С. Можаяева [10], В. С. Викторовой [11], К. Колюговски [1] и многих других. Значительный вклад в области анализа, оценки и управления рисками сложных технических систем сделали Е. Д. Соложенцев [12], И. А. Рябинин [9], А. С. Можаяев [10], Е. I. Henly и Н. Kumamoto [8], J. D. Andrews и T. R. Moss [7] и другие.

На сегодняшний день принципы надежности, безопасности и анализа рисков технических систем регламентированы в многочисленных нормативных документах. Однако анализ стандартов в области надежности [5] показал отсутствие нормативной документации в системе стандартов Украины по управлению рисками для ГТУ НП. В связи с этим авторами были разработаны модели рисков для ГТУ НП и для их процесса испытаний [5–6].

Согласно стандарту [13] общий процесс оценки риска (risk assessment) состоит из анализа риска (risk analysis) и оценивания риска (risk evaluation). При этом управление риском (risk control) включает в себя оценку риска и снижение/контроль риска. Данная последовательность действий в той или иной формулировке присутствует во многих нормативных документах [14, 15], поэтому будет принята за основу разрабатываемого метода.

3 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для формирования множества (4) необходимо разработать метод управления неопределенностью.

На первом этапе идентифицируем исследуемую СТС nO и активы $Asset$, представляющие ценность для данной системы.

На втором этапе, используя разработанные модели рисков [5, 6], определим опасности и риски, представляющие угрозу для СТС и для ее активов как на макро- так и микроуровне. Для этого идентифицируем атрибуты множеств $A_{d1 macro}$, $A_{d1 micro}$, $A_{d2 macro}$ и $A_{d2 micro}$, занеся в них наименования опасностей и рисков.

Далее необходимо определить критичность каждого из выделенных рисков измерения d_2 для определения целесообразности применения контрмер в условиях реально имеющихся (ограниченных) ресурсов.

Для этого на этапе три производится качественное ранжирование выделенных рисков множеств $A_{d2 macro}$ и $A_{d2 micro}$. В виду недостатка статистических данных об отказах ГТУ НП и их процессов оценивание рисков целесообразно провести с применением экспертных методов оценивания. Были определены и описаны категории рисков – ранги $\gamma = \{I, II, III, IV\}$, которые находятся в диапазоне от неприемлемого риска до пренебрежимо малого риска [16].

На основе выделенных рангов рисков γ была построена матрица рисков M_{Rang} , где значение каждой из ячеек матрицы соответствует рангу, присвоенному исходя из частоты опасных событий и последствий опасных событий [16]. Используя матрицу рисков M_{Rang} , каждому из выделенных рисков присваивается соответствующий ранг.

На четвертом этапе по результатам качественного ранжирования риски с рангами I и II признаются наиболее критичными и формируется отношение R_{crit} путем фиксации срезов $M'_{R macro}$ и $M'_{R micro}$.

Принимая во внимание вышеизложенное, прослеживается необходимость сохранения сопутствующих данных о рисках. Поэтому каждый из элементов множества атрибутов A_{d2} , описанного формулой (2), представим в виде кортежа:

$$a_g^2 = \langle na_g^2; \gamma_g; L(a_g^2) \rangle, \text{ где } g = 1, 2, \dots, g. \quad (5)$$

На пятом этапе для всех критичных рисков отношения R_{crit} определяются контрмеры для их компенсации или предотвращения, путем идентификации множеств атрибутов $A'_{d3 macro}$ и $A'_{d3 micro}$.

На сегодняшний день общепризнано, что концепция «абсолютной» безопасности неадекватна внутренним законам природы, которые имеют вероятностный характер. Поскольку даже использование самых эффективных систем безопасности, самых современных методов контроля над технологическими процессами не обеспечивает – и в принципе не может обеспечить – абсолютную надежность работы, исключая

щую аварийные ситуации [12]. Поэтому при определении мер по снижению риска (контрмер) мы руководствовались принципом приемлемого риска ALARP. Данный принцип подразумевает, что реализация контрмер не должна требовать неоправданно высоких затрат или неоправданно больших усилий, т.е. применение контрмер осуществляется за счет реально имеющихся (ограниченных) ресурсов и целесообразно только в случае, если затраты на реализацию контрмер меньше размера ущерба от наступления рисковогото события.

Если предположить, что для одного и того же риска могут быть выделены несколько альтернативных контрмер, то с учетом принципа ALARP возникает задача выбора наиболее целесообразного варианта.

На шестом этапе необходимо выбрать контрмеры из имеющихся альтернативных вариантов. Для этого необходимо разработать подметод выбора контрмер.

Важным аспектом метода выбора контрмер является определение критериев сравнения. Одним из таких критериев может служить тип контрмеры.

В ходе работы были выделены следующие типы контрмер.

1. По времени применения контрмеры могут разделяться на упреждающие и контрмеры реакции на риск. Упреждающие контрмеры, как видно из названия, способны полностью предупредить наступление возможного риска, при этом их применение осуществляется до наступления рисковогото события. А контрмеры реакции на риск предназначены для компенсации, как правило, частичной, риска и применяются после наступления нежелательных событий.

При этом затраты по реализации упреждающих контрмер будут взыматься вне зависимости от того наступило или нет событие неуспеха в отличие от контрмер реакции на риск, затраты на реализацию которых требуются только в случае наступления риска. С другой стороны, применение последних не всегда полностью может компенсировать риск, что, в конечном счете, может привести к увеличению суммарного риска осуществления данного события.

2. По объекту воздействия контрмеры могут подразделяться на следующие типы:

- сокращение или исключение первичных угроз, дефектов и ошибок в системе исследования, обусловленных недостатками их проектирования, разработки, модификации или планирования, отражающихся на рисках функциональной пригодности или характеристиках системы;

- сокращение уязвимости компонентов системы при воздействии на них угроз, дефектов и ошибок, путем введения средств защиты для блокирования их возможного негативного воздействия на риски функционирования;

- непосредственное изменение и сокращение последствий проявления рисков путем их оперативного обнаружения и ликвидации ущерба.

Необходимо отметить, что исключение первичных угроз и сокращение уязвимостей ведет в конечном итоге к улучшению самой системы, тогда как сокращение последствий рисков происходит, как правило, при сохранении вызывающих их первичных источников и причин.

Исходя из вышеизложенных характеристик, была создана сводная таблица 1, в которой приведено соотношение контрмер различных типов. В ячейках данной таблицы приведены ранги критических рисков, для которых применение контрмеры данного типа предпочтительнее.

Выделенные типы контрмер будут использованы как критерии сравнения при выборе контрмер из альтернативных вариантов, исходя из рекомендаций таблицы 1.

Рассмотрим метод выбора контрмер. Как было сказано выше, для одного и того же риска могут быть выделены несколько альтернативных контрмер. Выбор наиболее эффективного варианта и есть цель метода выбора контрмер.

Входными данными для данного метода будут служить сформированные ранее множества атрибутов $A'_{d3\ macro}$ и $A'_{d3\ micro}$, содержащие контрмеры для интегрированной модели критичных рисков R_{crit} .

Шаг 1. Определим некое множество $A'_{d3\ alt}$, которое содержало бы только группы альтернативных контрмер из множеств $A'_{d3\ macro}$ и $A'_{d3\ micro}$.

Шаг 2. Для каждой из групп альтернативных контрмер множества $A'_{d3\ alt}$ определим следующие критерии сравнения: затраты на реализацию контрмер; k' – степень компенсации события неуспеха от применения контрмеры; тип контрмер – как по времени применения, так и по объекту воздействия.

Шаг 3. Оценим относительные веса k каждой из контрмер множества $A'_{d3\ alt}$ по отношению к альтернативным вариантам с использованием метода анализа иерархий [6]. Данный метод позволяет найти такой вариант, который наилучшим образом согласуется с пониманием сути проблемы и требованиями к ее решению, а также сравнить и выполнить количественную оценку вариантов.

Метод анализа иерархий состоит в декомпозиции проблемы на более простые составляющие части и дальнейшей обработке последовательности суждений лица, принимающего решение, с помощью матриц парных сравнений. В результате работы с матрицами рассчитываются относительные веса элементов в иерархии, и выбирается наилучшая с точки зрения цели альтернатива.

Шаг 4. На основании относительных весов k каждой из контрмер, модифицируя множество $A'_{d3\ alt}$, определим множество $A'_{d3\ mod}$, содержащее перечень контрмер, рекомендованных к применению.

Шаг 5. Согласно множеству $A'_{d3\ mod}$ уточним исходные множества $A'_{d3\ macro}$ и $A'_{d3\ micro}$, исключив контрмеры, применение которых не целесообразно: $A'_{d3\ macro} / A'_{d3\ mod}$; $A'_{d3\ micro} / A'_{d3\ mod}$.

Для хранения описанных данных определим элементы множества A_{d3} , описанного формулой (2), как

$$a_g^3 = \left(na_g^3; L(a_g^3); type_g; k'_g; k_g; h \right), \quad (6)$$

где $g = pl$, где $p = 1, 2, \dots; p$ – номер кортежа в множестве атрибутов A_{d2} , содержащего информацию о риске, для которого была выделена рассматриваемая контрмера;

Таблица 1 – Соотношение контрмер различных типов

По времени применения	По объекту воздействия		
	Исключение первичных угроз	Сокращение уязвимости	Сокращение последствий
Упреждающие контрмеры	I	I	–
Контрмеры реакции на риск	–	II	II

$l = 0$ в случае если для данного риска была выделена одна контрмера, $l = 1, 2, \dots, n$, если для данного риска было выделено n контрмер, в том числе альтернативных;

Схема метода выбора контрмер из альтернативных вариантов показана на рисунке 1.

На седьмом заключительном этапе метода управления неопределенностью производится формирование итогового множества O' (4). Данное множество содержит информацию об области критичных рисков и контрмерах, применение которых ведет к снижению общего уровня риска для исследуемой СТС.

Если оценка рисков СТС используется для обеспечения непрерывного процесса управления риском, то ее необходимо выполнять таким образом, чтобы она могла корректироваться на протяжении всего жизненного цикла СТС. Оценка должна обновляться по мере поступления новой информации и в соответствии с потребностями процесса управления.

Схема метода управления неопределенностью показана на рисунке 2.



Рисунок 1 – Схема метода выбора контрмер из альтернативных вариантов



Рисунок 2 – Схема метода управления неопределенностью

4 ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Одной из центральных проблем для ГТУ НП является обеспечение высокой надежности, безопасности и большого ресурса работы. Подтверждение данных параметров осуществляется на испытаниях различных видов, проводимых практически на всех стадиях жизненного цикла ГТУ НП: разработки, производства, эксплуатации. Поэтому апробацию разрабатываемого метода управления неопределенностью проведем для процесса испытаний ГТУ НП, общая модель основных этапов которого представлена на рисунке 3 [17].

Для наглядности представления разработанного метода более подробно остановимся на этапе «Планирование» процесса испытаний ГТУ НП [17], поскольку ему необходимо уделить особое внимание, т.к. эффективное управление всем процессом испытаний ГТУ НП в первую очередь зависит от рационального планирования всех работ и оптимального распределения ресурсов.

5 РЕЗУЛЬТАТЫ

Активими для всего процесса испытаний являются материальные и нематериальные ресурсы ГТУ НП:

- материальная база, обеспечивающая проведение процесса испытаний;
- газотурбинная установка, включая все входящие функциональные системы и оборудование;
- участники испытаний и окружающая среда;
- результаты испытаний (информация о работе установки, данные результатов испытаний, отчеты и техническая документация).

Следует отметить, что для этапа «Планирование» не характерны опасности связанные с материальными ресурсами, обеспечивающими проведение испытаний и относящимися к самой ГТУ НП, а также опасности, связанные с причинением вреда окружающей среде. Также для данного этапа в виду его специфики отсутствует микромодель рисков, отражающая риски, влияющие на выполнение функций безопасности, что также упрощает описание данного примера и способствует его наглядности. Поэтому в названиях переменных будут опущены индексы *maso* и *micro*.

В таблице 2 представлены выделенные для данного этапа опасности, риски и результаты ранжирования. Как

видно, не было выделено ни одного риска ранга I, поэтому R_{crit} будет включать только риски ранга II.

Далее для каждого риска, входящего в R_{crit} , были определены контрмеры A'_{d3} , как видно из таблицы 3 некоторые из них содержали альтернативные варианты. Все альтернативные пары были выделены во множество $A'_{d3 alt}$.

Для определения целесообразности применения каждой из альтернативных контрмер были рассчитаны относительные веса k .

Пример выбора относительных весов k для этапа «Планирование» процесса испытаний ГТУ НП приведен в таблице 4.

Как видно из таблиц 3 и 4, согласно относительным весам k каждой из альтернативных контрмер, риски $na_1'^2$ и $na_3'^2$ целесообразно компенсировать упреждающими контрмерами, которые предназначены для устранения первичных угроз, тогда как риск $na_5'^2$ – контрмерой реакции на риск, предназначенной для сокращения последствий. Поэтому множество $A'_{d3 mod}$ примет вид $A'_{d3 mod} = \{na_{11 alt}^3; na_{31 alt}^3; na_{52 alt}^3\}$, согласно которого будет уточнено множество A'_{d3} и сформировано итоговое множество O' .

6 ОБСУЖДЕНИЕ

Применение метода управления неопределенностью в условиях ограниченных ресурсов для процесса испытаний ГТУ НП позволило сократить время на проведение оценки рисков для данного процесса за счет снижения количества обрабатываемых данных. Анализ количества обрабатываемых элементов модели рисков приведен в таблице 5.

Также полученный метод позволяет выбрать те контрмеры, которые наиболее эффективно снижают общий уровень риска для данного процесса, что в конечном счете позволяет снизить затраты на ликвидацию последствий от возможного риска. Полученная формализованная модель рисков ГТУ НП и их процессов может быть использована при автоматизации процесса управления неопределенностью ГТУ НП в условиях ограниченных ресурсов.

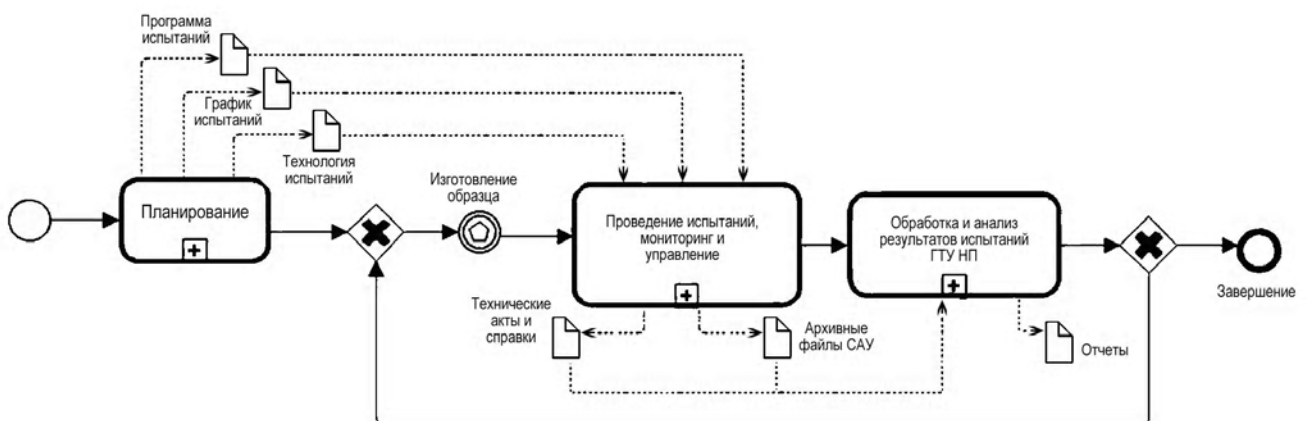


Рисунок 3 – Общая модель основных этапов процесса испытаний ГТУ НП

Таблица 2 – Оценка риска этапа «Планирование» процесса испытаний ГТУ НП

g	Опасности множества A_{d1}	Наименования рисков множества A_{d2}, na_g^2	Ранг, γ_g
1	a_1^1 – Ошибки при создании программы испытаний (ПИ) по причине человеческого фактора или недостатка достоверной исходной информации	na_1^2 – Риск создания некорректной ПИ	II
2		na_2^2 – Риск нарушения сроков создания ПИ	III
3	a_2^1 – Ошибки при создании технологии испытаний (ТИ) по причине человеческого фактора или недостатка достоверной исходной информации	na_3^2 – Риск создания некорректной ТИ	II
4		na_4^2 – Риск нарушения сроков создания ТИ	III
5	a_3^1 – Ошибки при создании графика испытаний (ГИ) по причине человеческого фактора или недостатка достоверной исходной информации	na_5^2 – Риск нарушения сроков создания ГИ	II
6		na_6^2 – Риск создания некорректного ГИ	III
7	a_4^1 – Опасности связанные с персоналом	na_7^2 – Риски, связанные с угрозами для персонала	IV

Таблица 3 – Компоненты отношения R_{crit} для этапа «Планирование» процесса испытаний ГТУ НП

Наименования рисков множества $A'_{d2}, na_g'^2$	Наименование контрмеры множества $A'_{d3}, na_x'^3$
$na_1'^2$ – Риск создания некорректной программы испытаний (ПИ)	na_{11}^3 – Содержание квалифицированного персонала на постоянной основе
	na_{12}^3 – Временное привлечение квалифицированных кадров
	na_{13}^3 – Корректная организация работ
$na_3'^2$ – Риск создания некорректной технологии испытаний (ТИ)	na_{31}^3 – Содержание квалифицированного персонала на постоянной основе
	na_{32}^3 – Временное привлечение квалифицированных кадров
	na_{33}^3 – Корректная организация работ
$na_5'^2$ – Риск нарушения сроков создания графика испытаний (ГИ)	na_{51}^3 – Обеспечение изготовления образца ГТУ НП
	na_{52}^3 – Предусмотреть резерв материальных и нематериальных ресурсов для компенсации неуспеха постфактум

Таблица 4 – Компоненты множества $A'_{d3 alt}$ для этапа «Планирование» процесса испытаний ГТУ НП

Наименование контрмеры множества $A'_{d3 alt}, na_g'^3 alt$	Относительные веса, k_g	Степень компенсации события неуспеха, k'_g
$na_{11}^3 alt$ – Содержание квалифицированного персонала на постоянной основе	0,67	0,17
$na_{12}^3 alt$ – Временное привлечение квалифицированных кадров	0,33	0,83
$na_{31}^3 alt$ – Содержание квалифицированного персонала на постоянной основе	0,67	0,17
$na_{32}^3 alt$ – Временное привлечение квалифицированных кадров	0,33	0,83
$na_{51}^3 alt$ – Обеспечение изготовления образца ГТУ НП	0,43	0,14
$na_{52}^3 alt$ – Предусмотреть резерв материальных и нематериальных ресурсов для компенсации неуспеха постфактум	0,57	0,86

Таблица 5 – Анализ количества элементов модели рисков для этапа «Планирование» процесса испытаний ГТУ НП

Наименование измерений гиперкуба	Количество элементов (атрибутов) модели риска	
	до применения метода управления неопределенностью	после применения метода управления неопределенностью
Опасности	4	4
Риски	7	3
Контрмеры	12	5
Итого:	23	12

ВЫВОДЫ

В работе решена задача формализации модели рисков ГТУ НП и их процессов. Что позволило разработать метод управления неопределенностью в условиях ограниченных ресурсов, основанный на методе оценки рисков и усовершенствованный методом выбора контрмер и позволяющий сформировать область критичных рисков для исследуемой СТС.

Усовершенствован метод выбора контрмер из альтернативных вариантов, основанный на методе приемлемого риска ALARP и методе анализа иерархий. Данный метод позволяет дать экономически обоснованную оценку уровня приемлемого риска.

Согласно разработанному методу управления неопределенностью выбор контрмер производится только для наиболее критичных рисков, что исключает необходимость проводить анализ вариантов компенсации для всех возможных рисков. Данное преимущество позволяет в значительной степени экономить время для проведения оценки рисков и средства для их компенсации.

Практическая ценность данной работы заключается в проведенной апробации разработанного метода управления неопределенностью в условиях ограниченных ресурсов для процесса испытаний ГТУ НП, в частности, для этапа «Планирование». Данная апробация показала, что решение задачи определения области критичных рисков позволило снизить количество обрабатываемых элементов модели рисков на 48%.

По результатам проведенной работы можно сделать вывод, что риск с большей долей вероятности и приносящий больший ущерб целесообразно компенсировать до наступления этого события путем исключения первичных угроз или сокращения уязвимости компонентов исследуемой СТС. Тогда как риск с большей долей неопределенности необходимо компенсировать постфактум за счет сокращения последствий проявления рисков путем их оперативного обнаружения и ликвидации ущерба с помощью резервных фондов материальных и нематериальных ресурсов, формирование которых и должно происходить, исходя из приведенного анализа.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность за оказанную помощь и содействие руководству Управления энергетических установок и газоперекачивающих агрегатов АО «Мотор Сич» в лице Главного конструктора – начальника управления В. И. Морозова, Заместителя главного конструктора – начальника управления В. П. Митина, Главного конструктора ГПА В.Н. Разношинского.

Данная работа выполнена на кафедре программных средств Запорожского национального технического университета в рамках темы № ДР0112U005351 «Разработка методов и информационных технологий для автоматизации процессов управления сложными объектами и системами» при поддержке международного проекта Темпус 530278-TEMPUS-1-2012-1-DE-TEMPUS-JPHES «Промышленное сотрудничество и креативное инженерное образование на основе удаленного дистанционного инженерного и виртуального инструментария» («Industrial Cooperation and Creative Engineering Education based on Remote Engineering and Virtual Instrumentation» [ICo-op]). Также работа выполнена в рамках договора о научно-техническом сотрудничестве № 8940/10-Д (УЭУиГПА) от 26.11.2010 (продлен дополнительным соглашением № 1 от 13.12.12) между Запорожским национальным техническим университетом и АО «Мотор Сич» «Разработка и программная реализация планирования испытаний газотурбинных установок наземного применения» (Исполнители от ЗНТУ: Табунщик Г. В., Шитикова Е. В.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kolowrocki K. Reliability and Safety of Complex Technical Systems and Processes: Modeling-Identification-Prediction-Optimization / K. Kolowrocki, J. Soszycka-Budny. – London : Springer, 2011. – 405 p. DOI: 10.1007/978-0-85729-694-8.
2. Kuo W. An annotated overview of system-reliability optimization / W. Kuo, V. R. Prasad // IEEE Transactions on Reliability. – 2000. – Vol. 49(2). – P. 176–187.
3. Kuo W. Optimal Reliability Modeling: Principles and Applications / W. Kuo, M. J. Zuo. – Hoboken : John Wiley & Sons, 2003. – 559 p.
4. Vercellis S. Business Intelligence: Data Mining and optimization for decision making / S. Vercellis. – Hoboken : John Wiley & Sons. 2009. – 417 p. DOI: 10.1002/9780470753866.
5. Шитикова Е. В. Анализ рисков газотурбинных установок наземного применения / Е. В. Шитикова, Г. В. Табунщик // Вісник двигунобудування. – 2012. – №1. – С. 54–59.
6. Шитикова Е. В. Моделирование рисков процесса испытаний газотурбинных установок наземного применения / Е. В. Шитикова, Г. В. Табунщик // Наукові праці Донецького національного технічного університету, серія: «Проблеми моделювання та автоматизації проектування». – 2012. – № 1(10)–2(11). – С. 79–89.
7. Andrews J. D. Reliability and Risk Assessment. Second edition / J. D. Andrews, T. R. Moss. – London and Bury St Edmunds : Professional Engineering Publishing, 2002. – 540 p.
8. Henley E. I. Probabilistic Risk Assessment and Management for Engineers and Scientists / E. I. Henley, H. Kumamoto. – New York : Wiley-IEEE Press, 1996. – 620 p.
9. Рябинин И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем / И.А. Рябинин. – СПб. : Политехника, 2000. – 248 с.
10. Можаяев А. С. Применение автоматизированного структурно-логического моделирования для проектного расчета надежности АСУ / А. С. Можаяев, М. С. Скворцов, А. В. Струков // Нефть. Газ. Новации. – 2010. – № 9. – С. 72–78.
11. Викторова В. С. Комплекс программ для анализа надежности, безопасности и эффективности технических систем / В. С. Викторова, А. С. Степанянц // Приборы и системы управления. – 1998. – № 6. – С. 11–17.
12. Соложенцев Е. Д. Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике. Изд. 2-е. / Е. Д. Соложенцев. – СПб. : Издательский дом : Бизнес-пресса, 2006. – 530 с.
13. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем : ГОСТ Р 51901.1-2002. – [Дата введения 2003-09-01]. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2002. – 28 с. – (Государственный стандарт Российской Федерации).
14. Безпечність машин. Принципи оцінювання ризику (EN 1050:1996, IDT) : ДСТУ EN 1050:2003. – [Чинний від 2004-10-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2005. – 22 с. – (Національний стандарт України).
15. Безопасность машин и оборудования. Оценка риска : ГОСТ Р 54124-2010. – [Дата введения 2012-06-01]. – М. : Стандартинформ, 2013. – 102 с. – (Государственный стандарт Российской Федерации).
16. Ранжирование рисков газотурбинных установок наземного применения / [Е. В. Шитикова, Г. В. Табунщик, В. П. Митин, В. И. Морозов] // Моделирование и Анализ Безопасности и Риска в Сложных Системах : Международная научная школа МАБР-2011, Санкт-Петербург, 28 июня – 02 июля 2011 г. : труды школы. – СПб. : ГУАП, 2011. – С. 277–279.
17. Шитикова Е. В. Информационная модель процесса испытаний газотурбинных установок наземного применения / Е. В. Шитикова, Г. В. Табунщик // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2012. – № 1(28). – С. 101–108.

Статья поступила в редакцию 24.11.2014.

После доработки 10.12.2014.

Шитікова О. В.¹, Табунщик Г. В.²

¹Аспірант кафедри програмних засобів Запорізького національного технічного університету, Запоріжжя, Україна

²Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри програмних засобів Запорізького національного технічного університету, Запоріжжя, Україна

МЕТОД УПРАВЛІННЯ НЕВИЗНАЧЕНІСТЮ В УМОВАХ ОБМЕЖЕНИХ РЕСУРСІВ

Розглянуті питання надійності та функціональної безпеки газотурбінних установок наземного використання. Проведена формалізація раніше розроблених моделей ризиків газотурбінних установок наземного використання та їх процесів. Запропоновано метод управління невизначеністю складних технічних систем і їх процесів в умовах обмежених ресурсів, заснований на методі оцінки ризиків і методі вибору контрзаходів, що дозволяє сформувавши область критичних ризиків для досліджуваної складної технічної системи. Удосконалено метод вибору контрзаходів з альтернативних варіантів, заснований на методі аналізу ієрархій і методі прийнятності ризику ALARP, оскільки застосування контрзаходів здійснюється за рахунок фактично наявних (обмежених) ресурсів. Проведено класифікацію контрзаходів за часом застосування та за об'єктом впливу. Виділені типи були використані як один з критеріїв порівняння при виборі контрзаходів із альтернативних варіантів. Створена зведена таблиця співвідношення контрзаходів різних типів. Метод вибору контрзаходів з альтернативних варіантів дозволяє зробити висновок в умовах обмежених ресурсів і дати економічно обґрунтовану оцінку при ухваленні рішення щодо рівня прийнятності ризику. Отримані методи апробовані для оцінки ризиків процесу випробувань газотурбінних установок наземного використання.

Ключові слова: газотурбінні установки наземного використання, модель ризиків, метод управління невизначеністю, метод вибору контрзаходів.

Shitikova Yel.¹, Tabunshchik G.²

¹Postgraduate student of Software Tools Department, Zaporizhzhya National Technical University, Zaporizhzhya, Ukraine

²PhD, Associate professor, Associate professor of Software Tools Department, Zaporizhzhya National Technical University, Zaporizhzhya, Ukraine

METHOD OF MANAGING UNCERTAINTY IN RESOURCE-LIMITED SETTINGS

The article deals with the questions of reliability and functional safety of the gas turbine units for terrestrial usage. Previously developed risk models of the gas turbine units for terrestrial usage and processes are formalized. Authors propose the method of managing uncertainty of complex technical systems and their processes in resource-limited settings. It is based on the method of risk assessment and the method for choice of alternative countermeasures. It allows to form the risk critical area for the complex technical systems. The method for choice of alternative countermeasures improved. It is based on the Analytic Hierarchy Process and the method of acceptable risk ALARP, since the application of countermeasures realize at the expense actually available (limited) resources. Countermeasures were classified by time of application and impact object. Dedicated types served as a compare criterion of the method for choice of alternative countermeasures. A summary table was created for ratio of different types of countermeasures. The method for choice of alternative countermeasures allows to make a conclusion in resource-limited settings and provides economically reasonable estimate of the decision about the level of acceptable risk. The derived methods are tested for the GTU tests process risk assessment.

Keywords: gas turbine unit for terrestrial usage, risk model, method of managing uncertainty, method for choice of countermeasures.

REFERENCES

1. Kołowrocki K., Soszycka-Budny J. Reliability and Safety of Complex Technical Systems and Processes: Modeling-Identification-Prediction-Optimization. London, Springer, 2011, 405 p. DOI: 10.1007/978-0-85729-694-8.
2. Kuo W., Prasad V. R. An annotated overview of system-reliability optimization, *IEEE Transactions on Reliability*, 2000, Vol. 49(2), pp. 176–187.
3. Kuo W., Zuo M. J. Optimal Reliability Modeling: Principles and Applications. Hoboken, John Wiley & Sons, 2003, 559 p.
4. Vercellis S. Business Intelligence: Data Mining and optimization for decision making. Hoboken, John Wiley & Sons, 2009, 417 p. DOI: 10.1002/9780470753866.
5. Shitikova E. V., Tabunshchik G. V. Analiz riskov gazoturbinnih ustanovok nazemnogo primenenija, *Visnyk dvygunobuduvannja*, 2012, No. 1, pp. 54–59.
6. Shitikova E. V., Tabunshchik G. V. Modelirovanie riskov processa ispytanij gazoturbinnih ustanovok nazemnogo primenenija, *Naukovi praci Donec'kogo nacional'nogo tehničnogo universytetu, serija: «Problemy modeljuvannja ta avtomatyzacii' proektuvannja»*, 2012, No. 1(10)–2(11), pp. 79–89.
7. Andrews J. D., Moss T. R. Reliability and Risk Assessment. Second edition. London and Bury St Edmunds, Professional Engineering Publishing, 2002, 540 p.
8. Henley E. I., Kumamoto H. Probabilistic Risk Assessment and Management for Engineers and Scientists. New York, Wiley-IEEE Press, 1996, 620 p.
9. Rjabinin I. A. Nadezhnost' i bezopasnost' strukturno-slozhnyh sistem. SPb, Politehnika, 2000, 248 p.
10. Mozhaev A. S., Skvorcov M. S., Strukov A. V. Primenenie avtomatizirovannogo strukturno-logicheskogo modelirovanija dlja proektnogo rascheta nadezhnosti ASU, *Neft'. Gaz. Novacii*, 2010, No. 9, pp. 72–78.
11. Viktorova V. S., Stepanjanc A. S. Kompleks programm dlja analiza nadezhnosti, bezopasnosti i jeffektivnosti tehničeskikh sistem, *Pribory i sistemy upravlenija*, 1998, No. 6, pp. 11–17.
12. Solozhencev E. D. Scenarnoe logiko-verojatnostnoe upravlenie riskom v biznese i tehnike. Izd. 2-e. SPb, Izdatel'skij dom, Biznespress, 2006, 530 p.
13. Menedzhment riska. Analiz riska tehnologičeskikh sistem : GOST R 51901.1-2002. – [Data vvedenija 2003-09-01], Moscow, IPK Izdatel'stvo standartov, 2002, 28 p. – (Gosudarstvennyj standart Rossijskoj Federacii).
14. Bezpečnost' mashyn. Prynypy ocinjuvannja ryzyku (EN 1050:1996, IDT) : DSTU EN 1050:2003. – [Chynnyj vid 2004-10-01]. Kyiv, Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2005, 22 p. – (Nacional'nyj standart Ukrainy).
15. Bezopasnost' mashin i oborudovanija. Ocenka riska : GOST R 54124-2010. – [Data vvedenija 2012-06-01]. Moscow, Standartinform, 2013, 102 p. – (Gosudarstvennyj standart Rossijskoj Federacii).
16. Shitikova E. V., Tabunshchik G. V., Mitin V. P., Morozov V. I. Ranzhirovanie riskov gazoturbinnih ustanovok nazemnogo primenenija, Modelirovanie i Analiz Bezopasnosti i Riska v Slozhnyh Sistemah, Mezhdunarodnaja nauchnaja shkola MABR-2011, Sankt-Peterburg, 28 ijunja– 02 ijulja 2011 g. : trudy shkoly. SPb, GUAP, 2011, pp. 277–279.
17. Shitikova E. V., Tabunshchik G. V. Informacionnaja model' processa ispytanij gazoturbinnih ustanovok nazemnogo primenenija, *Radioelektronika, informatyka, upravlinnja*, 2012, No. 1(28), pp. 101–108.