

На правах рукописи

БЛОХИН Станислав Анатольевич

УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ НА ОБЪЕКТАХ ГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Тамбов 2003

Работа выполнена в Тамбовском государственном техническом университете на кафедре "Информационные процессы и управление"

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Матвейкин Валерий Григорьевич

Официальные оппоненты: доктор физико - математических наук, профессор
Афанасьев Александр Петрович,
доктор технических наук, профессор
Дворецкий Станислав Иванович

Ведущая организация РХТУ им. Д.И. Менделеева

Защита диссертации состоится 24 декабря 2003 г. в " 15 " часов на заседании диссертационного совета Д 212. 260. 01 Тамбовского государственного технического университета по адресу: 392000. г. Тамбов, ул. Советская, 106, ТГТУ, Большой зал.

Отзывы в двух экземплярах, скрепленные гербовой печатью, просим направлять по адресу: 392000. г. Тамбов, ул. Советская, 106, ТГТУ, ученому секретарю.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Тамбовского государственного технического университета.

Автореферат разослан " 23 " ноября 2003 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



А.А. Чуриков

2003-A
20574

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Важнейшим фактором повышения эффективности функционирования сложных газовых комплексов (ГК) в условиях рыночной экономики является обеспечение их безаварийной работы при высоких экономических показателях. Для объектов газового хозяйства (ОГХ) характерны пожаро- и взрывоопасность, возможность аварий с большим экономическим ущербом, распределенность на значительной территории, сложность структуры, разнообразие физико-химических процессов, подверженность влиянию природных, техногенных и экономических факторов. При управлении ОГХ можно выделить два основных вида работ – оперативное решение текущих эксплуатационных задач и выполнение проектов по модернизации и развитию газового хозяйства. Оба вида работ обеспечиваются информационной системой, которая позволяет автоматизировано решать широкий круг задач, связанных с бухгалтерскими расчетами, работой с клиентами, организацией ремонта и др.

Вместе с тем, задачи управления проектами и рисками, не менее важные для ОГХ, изучены недостаточно. Для решения этих задач необходимо проведение наукоемких исследований по разработке моделей и алгоритмов, а также сбору и обработке статистических данных о критических ситуациях для рассматриваемого региона и конкретных ОГХ.

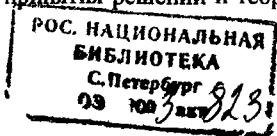
Теория управления рисками на сложных объектах, характеризующихся высокой степенью неопределенности, находится на начальной стадии своего развития, большинство существующих методов качественной и количественной оценки рисков носят упрощенный характер, достоверность получаемых результатов низка и не может быть приемлемой для ОГХ, относящихся к категории пожаровзрывоопасных предприятий. Поэтому разработка моделей и алгоритмов, необходимых для управления рисками на ОГХ, является актуальной. Диссертационная работа выполнялась в соответствии с планами госбюджетных и хоздоговорных НИР ТГТУ 1999 - 2003 гг.

Цель работы заключается в построении моделей функционирования ОГХ, учитывающих изменения состояний работоспособности технических средств, производственных ситуаций и внешнего окружения, разработке метода оперативного определения вероятностей критических ситуаций, постановке и решения задач управления рисками в процессе проектирования и производственной деятельности на объектах газового комплекса.

Основные положения, выносимые на защиту:

- математическая модель ОГХ, использующая расширенное множество состояний функционирования;
- постановки и алгоритмы решения задач управления рисками при проектировании и производственной деятельности;
- методы и алгоритмы оперативного расчета вероятностей критических ситуаций на ОГХ.

Методы исследований. Использованы методы системного анализа, теории вероятностей и математической статистики, математического моделирования, теории нечетких множеств, теории игр, надежности, принятия решений и теории графов.



Научная новизна. Разработан метод построения расширенного множества состояний функционирования (РМСФ), учитывающего изменения состояний работоспособности технических средств, производственных ситуаций и внешнего окружения ГК. На основе РМСФ разработана модель функционирования, пригодная для решения задач управления рисками на ОГХ.

Предложена классификация критических ситуаций и разработаны алгоритмы оперативного расчета мер риска. Сформулированы и решены задачи управления рисками при эксплуатации и проектировании ОГХ. Разработан метод динамической вариантности при управлении проектами.

Практическая ценность. Созданные модели и алгоритмы могут быть использованы для прогнозирования развития критических ситуаций под влиянием различных факторов, принятия обоснованных проектных и управленческих решений в ходе функционирования сложных ОГХ, разработке модулей информационной системы ГК для автоматизированного решения задач управления проектами и рисками.

Реализация результатов исследования. Разработанные математические модели и алгоритмы использованы в автоматизированной системе управления ОГХ ОАО "Тамбовоблгаз", при определении состава и планировании работ ремонтной службы предприятия. Программы расчета на ЭВМ вероятностей критической ситуаций сложных систем внедрены в учебный процесс ТГТУ.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались: на IV Всероссийской научной конференции молодых ученых и специалистов "Новые технологии в газовой промышленности" РГУ им. И.М.Губкина, апрель 2001 г., на VII международной научно-практической конференции "Системный анализ в проектировании и управлении" (СПб, июнь – июль 2003г.), на 6 – ой Всероссийской научной конференции молодых ученых и аспирантов "Новые информационные технологии. Разработка и аспекты применения" (Таганрог, ноябрь 2003 г.).

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 7 печатных работах.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка использованной литературы и приложений. Основная часть диссертации изложена на 130 страницах машинописного текста. Содержит 30 рисунков и 12 таблиц. Список литературы включает 127 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность темы исследований, определяются цель и задачи диссертационной работы, перечисляются основные научные и практические результаты диссертации, приводятся данные о ее структуре.

В **первой главе** с позиций системного подхода рассмотрены наиболее распространенные структуры, характеристики и свойства объектов газового комплекса. Основное внимание уделяется вопросам, связанным с проблемой риска, от решения которой во многом зависит эффективность функционирования сложного газового хозяйства. Проведена классификация рисков, показаны трудности построения моделей, учитывающих факторы риска различной природы. Рассмотрены особенности решения задач проектирования и управления ОГХ с учетом рисков.

Дан обзор применения информационных технологий, используемых при управлении проектами и рисками. Показано, что используемое в существующих информационных системах математическое и алгоритмическое обеспечение не позволяет в реальном времени определять вероятности критических по последствиям состояний для ОГХ в сложной быстро меняющейся обстановке.

На основе проведенного анализа обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель и задачи исследования.

Вторая глава посвящена анализу составляющих риска, характерных для объектов газового хозяйства и которые необходимо учитывать в производственной деятельности. По результатам анализа сформулированы два класса задач – задачи проектирования с учетом риска и задачи оперативного управления рисками в процессе эксплуатации газового хозяйства.

В целях наиболее полного учета факторов риска вводится расширенное множество состояний функционирования, которое строится на основе интеграции множества состояний работоспособности (МСР), множества производственных ситуаций (МПС) и нечеткого множества (НМ).

Множество состояний работоспособности учитывает ситуации, связанные с отказами основного оборудования, технических устройств автоматики и других средств. Знание состояний работоспособности и вероятностей этих состояний во многих случаях недостаточно для определения рисков и показателей эффективности ОГХ. Более полно возможные состояния ОГХ при длительной эксплуатации отражает множество состояний функционирования (МСФ), которое наряду с состояниями работоспособности учитывает изменения производственных ситуаций. Воздействия на ОГХ внешнего окружения при отсутствии достаточного статистического материала могут быть описаны лишь на качественном уровне с использованием нечетких множеств. Сравнительная характеристика МСР, МПС и НМ приведена в табл. 1.

Вводимое РМСФ комплексно учитывает факторы надежности оборудования, внутренней производственной среды и внешнего окружения ОГХ. Каждое состояние РМСФ характеризуется одним показателем, имеющим вероятностную природу и удовлетворяющим условию нормировки, состав РМСФ и вероятности состояний со временем могут изменяться. МСФ \mathcal{H} конструируется как декартово произведение множеств МСР \mathcal{S} и МПС \mathcal{V} , а РМСФ \mathcal{R} – как декартово произведение $\mathcal{H} \times \mathcal{X}$, где $\mathcal{X} = \{y\}$ – дискретное множество, получаемое из НМ \mathcal{X} . Учитывая такую структуру РМСФ для его введения применяется метод иерархий. Например, на верхнем уровне иерархии располагаются состояния $s \in \mathcal{S}$. На втором уровне каждому состоянию s , соответствует подмножество $H_i \subset \mathcal{H}$, элементы которого имеют вид $h_{i1} = (s_j, v_1)$, $h_{i2} = (s_j, v_2)$ и т.д. На третьем уровне располагаются подмножества $R_{ij} \subset \mathcal{R}$, т.е. $R_{ij} = \{r_{ij1} = (h_{ij}, y_1), r_{ij2} = (h_{ij}, y_2), \dots\}$. В этом случае мощность множества \mathcal{R} равна произведению мощностей множеств \mathcal{S} , \mathcal{V} и \mathcal{X} , т.е. $|\mathcal{R}| = |\mathcal{S}| \cdot |\mathcal{V}| \cdot |\mathcal{X}|$. Схематично множества \mathcal{S} , \mathcal{V} , \mathcal{H} , \mathcal{X} и \mathcal{R} показаны на рис. 1.

Серьезные трудности при введении множества \mathcal{R} для ОГХ связаны с большой мощностью МСР и соответственно МСФ. Для преодоления этих трудностей в множестве \mathcal{S} выделяются наиболее вероятные состояния, которые не ведут

к критическим последствиям, они образуют подмножество S_p . Остальные состояния, в т.ч. и критические, объединяются в подмножество \bar{S} . Аналогичное выделение подмножеств, в случае необходимости, производится для МСФ.

Таблица 1

Характеристики	РМСФ		
	МСФ		НМ
	МСР	МПС	
Границы между состояниями	Четкие (состояния несовместимые, исключаяющие)		Размытые (состояния совместимые)
Характеристика состояния	Вероятность		Функция принадлежности
Условия нормировки	Выполняются		Не выполняются
Моменты времени переходов между состояниями	Случайные	Могут быть неслучайными	Неопределенны
Число элементов множества во время эксплуатации	Постоянно	Может незначительно изменяться	Меняется
Исходные данные для расчета вероятностей	Показатели надежности частей и схема обслуживания	Дополнительно к данным для МСР могут задаваться вероятности отдельных состояний	Функции принадлежности, данные экспертов

В предположении независимости изменения состояний в множествах \mathcal{S} , \mathcal{V} и \mathcal{Y} методика введения РМСФ содержит следующие этапы. 1. Производится декомпозиция ГК на части и вводятся состояния работоспособности частей. 2. Строится МСР системы с учетом резервирования и схемы обслуживания, т.е. возможностей ремонтной службы, приоритетов при устранении отказов и т.д. В множестве \mathcal{S} выделяются подмножества S_p и \bar{S} . 3. Вводится множество \mathcal{V} , отражающее возможные производственные и эксплуатационные ситуации. 4. Вводится МСФ \mathcal{H} как декартово произведение $(S_p \cup \bar{S}) \times \mathcal{V}$. 5. На основе нечетких множеств вводится дискретное множество \mathcal{X} , характеризующее ситуации внешней среды. 6. Строится РМСФ $\mathcal{R} = \mathcal{H} \times \mathcal{X}$.

Важную роль при решении задач управления рисками играет выделение в множестве \mathcal{R} групп критических ситуаций \mathcal{K}_j , $j=1,2,3$.

Определение 1. Множество критических состояний (МКС) первого рода $\mathcal{K}_1 = \{k_{1,i}, i=\overline{1, n_1}\} \subset (\mathcal{S} \cup \mathcal{V} \cup \mathcal{Y})$ включает только состояния, для которых выполняется условие

$$p(k_{1,i}) = \begin{cases} p(s), & \text{если } k_{1,i} = s \in \mathcal{S}, \\ p(v), & \text{если } k_{1,i} = v \in \mathcal{V}, \\ p(y), & \text{если } k_{1,i} = y \in \mathcal{Y}. \end{cases} \quad (1)$$

Т.о., для $k_{1,i} \in \mathcal{S}$ риск не зависит от $p(v), v \in \mathcal{V}$ и $p(y), y \in \mathcal{Y}$, в случае $k_{1,i} \in \mathcal{V}$ - от $p(s), s \in \mathcal{S}$ и $p(y), y \in \mathcal{Y}$ и т.д. Для определения $p(k_{1,i})$ достаточно рассматривать расчетные соотношения применительно только к одному из множеств \mathcal{S} , или \mathcal{V} , или \mathcal{Y} . В множестве \mathcal{K}_1 выделяется три подмножества $\mathcal{K}_{1,s}, \mathcal{K}_{1,v}$ и $\mathcal{K}_{1,y}$, т.е. $\mathcal{K}_1 = \mathcal{K}_{1,s} \cup \mathcal{K}_{1,v} \cup \mathcal{K}_{1,y}$.

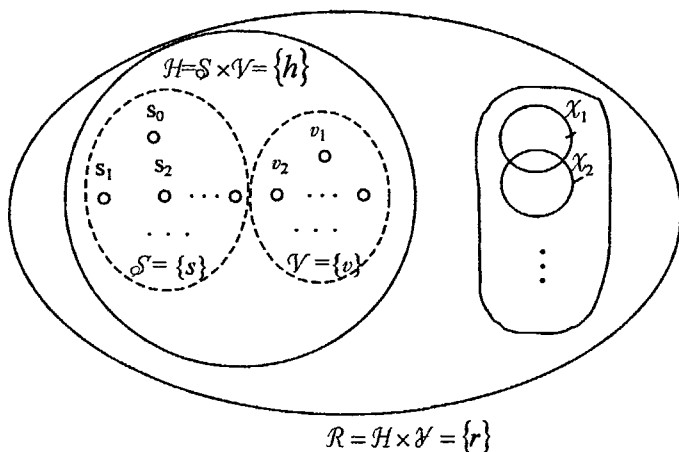


Рис. 1 Схематическое представление расширенного множества состояний функционирования

Определение 2. МКС второго рода

$$\mathcal{K}_2 = \{k_{2,i}, i=\overline{1, n_2}\} \subset ((\mathcal{S} \times \mathcal{V}) \cup (\mathcal{S} \times \mathcal{Y}) \cup (\mathcal{V} \times \mathcal{Y}))$$

содержит состояния, для которых выполняется условие

$$p(k_{2,i}) = \begin{cases} p(s, v), & \text{если } k_{2,i} = (s, v) \in (\mathcal{S} \times \mathcal{V}) \setminus (\mathcal{K}_{1,s} \cup \mathcal{K}_{1,v}), \\ p(s, y), & \text{если } k_{2,i} = (s, y) \in (\mathcal{S} \times \mathcal{Y}) \setminus (\mathcal{K}_{1,s} \cup \mathcal{K}_{1,y}), \\ p(v, y), & \text{если } k_{2,i} = (v, y) \in (\mathcal{V} \times \mathcal{Y}) \setminus (\mathcal{K}_{1,v} \cup \mathcal{K}_{1,y}). \end{cases} \quad (2)$$

Т.о., риск второго рода связан с возникновением ситуации, характеризующейся состояниями из двух разных множеств, например, отказ технического устройства при неблагоприятных метеоусловиях.

Определение 3. МКС третьего рода $\mathcal{K}_3 = \{k_{3i}, i = \overline{1, n_3}\} \subset \mathcal{R}$ включает состояния, обусловленные сочетанием элементов трех множеств $s \in \mathcal{S}, v \in \mathcal{V}$ и $y \in \mathcal{Y}$, т.е.

$$p(k_{3i}) = p(r = (s, v, y)), r \in \mathcal{R} \setminus (\mathcal{K}_1 \cup \mathcal{K}_2). \quad (3)$$

Критические состояния второго рода $k_{2i} \in \mathcal{K}_2$ могут представлять собой объединение элемента из одного множества, например \mathcal{S} , и подмножества элементов из другого множества, например, \mathcal{V} . Такие состояния обозначаются $k_{2i} = (s, V_i), V_i \subset \mathcal{V}; k_{2j} = (s, Y_j), Y_j \subset \mathcal{Y}; k_{3l} = (v, S_l), S_l \subset \mathcal{S}$ и т.д. В этом случае единичные элементы располагаются на первом месте и называются определяющими (ключевыми). Аналогичное замечание распространяется и на критические состояния третьего рода $k_{3i} \in \mathcal{K}_3$.

В определениях 2, 3 предполагалось, что состояния k_{2i} и k_{3j} формируются по принципу сочетания элементов, т.е. в них не учитывается порядок (очередность) изменения состояний отдельных множеств при возникновении критической ситуации. Например, в состоянии $k_{2i} = (s_l, v_m)$ система приходит из состояния s_l после наступления v_m или из v_m после наступления s_l , т.е. $(s_l, v_m) = (v_m, s_l)$. Возможны случаи, когда для критической ситуации необходимо учитывать очередность смены состояний, т.е. приходится использовать принцип размещения, при котором состояние $(s_l, v_m) \neq (v_m, s_l)$. Такие критические состояния обозначаются \tilde{k}_{2i} .

Утверждение 1. Если в РМСФ \mathcal{R} выделены МКС $\mathcal{K}_j \neq \emptyset, j = 1, 2, 3$, причем $\mathcal{K}_2, \mathcal{K}_3$ содержат только состояния k_{2i} и k_{3j} , образуемые сочетаниями элементов различных множеств, то верхняя граница риска Q_c ОГХ определяется соотношением

$$Q_c \leq \sum_{j=1}^3 \sum_{k_{ji} \in \mathcal{K}_j} p(k_{ji}) \quad (4)$$

и если МКС \mathcal{K}_2 и \mathcal{K}_3 содержат состояния вида \tilde{k}_{2j} , образуемые размещением элементов, то риск $Q_p < Q_c$.

Разработан алгоритм автоматизированного построения РМСФ, алгоритм содержит следующие этапы. 1. На первом (верхнем) уровне иерархии располагаются состояния множества $\mathcal{L} \in \{\mathcal{S}, \mathcal{V}, \mathcal{Y}\}$, содержащего максимальное число критических состояний первого рода, т.е. соответствующее $|K_{1j}| = \arg \max_{s, v, y} \{|K_{1,s}|, |K_{1,v}|, |K_{1,y}|\}$. 2. На втором уровне иерархии к состояниям первого уровня добавляются состояния множества \mathcal{N} с максимальным чис-

лом элементов из \mathcal{K}_2 . 3. На третьем (нижнем) уровне размещаются состояния $r \in \mathcal{R}$.

Например, пусть МСР определяет возможные состояния работоспособности двух компрессорных станций и $S = \{s_0, s_1, s_2\}$, здесь s_j - ситуация с j отказавшими станциями. Множество $\mathcal{V} = (v_0, v_1)$ характеризует внешние воздействия: v_0 - нормальные условия, v_1 - экстремальная ситуация (пожар на участке, отключение подачи газа и т.д.). Нечеткое множество $\mathcal{X} = \{x_i, i = \overline{1, n_x}\}$ отражает экономическую сторону деятельности комплекса (наличие задолженности, степень завершенности строительства и т.п.). Множество \mathcal{K}_1 содержит одно состояние $K_{1,1} = s_2$, множество \mathcal{K}_2 - также одно состояние $K_{2,1} = (s_1, v_1)$. В этом случае на верхнем уровне иерархии располагаются элементы множества \mathcal{S} , так как множество критических состояний первого рода $\mathcal{K}_1 = K_{1,s}$, ($K_{1,v} = \emptyset$, $K_{1,y} = \emptyset$) содержит только элемент $s_2 \in \mathcal{S}$. На втором уровне добавляются элементы $v \in \mathcal{V}$, так как состояние v_1 является условием возникновения критической ситуации $K_{2,1}$. Такое расположение множеств \mathcal{S} , \mathcal{V} , \mathcal{Y} по уровням позволяет максимально упростить иерархическую схему введения РМСФ за счет того, что продолжение ветвей после критических состояний можно не производить.

Утверждение 2. Если для ОГХ $\mathcal{K}_1 \neq \emptyset$, $\mathcal{K}_j = \emptyset$, $j = 2, 3$ при этом $\mathcal{K}_j \subset L$, $L \in \{\mathcal{S}, \mathcal{V}, \mathcal{Y}\}$, то риск равен

$$Q = \sum_{i=1}^{n_1} p(K_{1,i}) = 1 - \sum_{l \in L \setminus \mathcal{K}_1} p(l).$$

Справедливость данного равенства непосредственно следует из алгоритма построения \mathcal{R} , в соответствии с которым элементы $l \in L$ располагаются на верхнем уровне иерархии.

Утверждение 3. Если для ОГХ $\mathcal{K}_j \neq \emptyset$, $j = 1, 2$, $\mathcal{K}_3 = \emptyset$, при этом $\mathcal{K}_1 \subset L$, а ситуации $K_{2,j} \in \mathcal{K}$ образуются состояниями из множеств \mathcal{L} и \mathcal{N} по принципу сочетания элементов, то риск равен

$$Q = \sum_{i=1}^{n_1} p(K_{1,i}) + \sum_{i=1}^{n_2} p(K_{2,i}) = 1 - \sum_{l \in L \setminus (\mathcal{K}_1 \cup \mathcal{K}_2)} p(l) - \sum_{(l,n) \in (\mathcal{L} \times \mathcal{N})_2} p(l,n),$$

здесь $(\mathcal{L} \times \mathcal{N})_2$ - множество допустимых (не критических) состояний второго уровня иерархии, которые не содержатся в ветвях иерархии с вершинами из множества $L \setminus (\mathcal{K}_1 \cup \mathcal{K}_2)$.

Если для ОГХ $\mathcal{K}_j \neq \emptyset$, $j=1,2,3$ и на верхнем уровне располагаются элементы множества \mathcal{L} , то для риска Q_c (см. (4)) справедливо соотношение

$$Q_c \leq 1 - \sum_{l \in \mathcal{L}_3} p(l), \quad \mathcal{L}_3 \subset \mathcal{L},$$

где \mathcal{L}_3 - подмножество элементов первого уровня иерархии, ветви которых не содержат элементов, входящих в \mathcal{K}_1 , \mathcal{K}_2 и \mathcal{K}_3 .

При формализации и решении задач управления рисками (ЗУР) для объектов газового хозяйства учитываются сложность и изменение во времени структуры объектов, высокая степень неопределенности вследствие воздействия большого числа факторов, имеющих случайную природу, необходимость принятия и реализации управленческих решений в реальном времени.

В общем случае ЗУР формулируется следующим образом. Задаются: 1) модель ОГХ $M = (\mathcal{G}, \xi_r, r \in \mathcal{R})$, основу которой составляет граф $\mathcal{G}(\mathcal{R}, \mathcal{D})$ возможных изменений состояний функционирования (\mathcal{R} - множество вершин, \mathcal{D} - множество дуг графа) и соотношения для прогнозирования критических ситуаций $k \in \mathcal{K}$, $\mathcal{K} \subset \mathcal{R}$, $\mathcal{K} = (\mathcal{K}_1 \cup \mathcal{K}_2 \cup \mathcal{K}_3)$, пребывание в которых связано со значительным ущербом, т.е. отображения $\xi_r: \mathcal{I} \times \mathcal{R} \times \mathcal{D} \rightarrow \mathcal{K} \times \mathcal{P}_k$, $r \in \mathcal{R}$, здесь $\mathcal{P}_k = \{p(k), k \in \mathcal{K}\}$ - вероятности критических ситуаций, \mathcal{I} - множество значений времени прогноза; 2) значения функций потерь (ущерба) для возможных критических состояний $\alpha(k)$, $k \in \mathcal{K}$ и функций затрат $\beta(k, u)$ на реализацию управленческих решений $u(k) \in \mathcal{U}$ применительно к ситуации $k \in \mathcal{K}$, здесь \mathcal{U} - множество решений; 3) ресурсы Ω , которые могут быть использованы для реализации управлений $u(k)$, $k \in \mathcal{K}$; 4) множество допустимых вероятностей для критических ситуаций $\mathcal{P}_j = \{p_{\text{доп}}(k), k \in \mathcal{K}\}$ (критерии приемлемости рисков).

Требуется для текущего (в момент времени t_0) состояния функционирования $r(t_0) \in \mathcal{R}$ с использованием модели $(\mathcal{G}, \xi_r, r \in \mathcal{R})$ выделить подмножество критических ситуаций $k \in \mathcal{K}(t_0) \subset \mathcal{K}$, для которых $p(k) \geq p_{\text{доп}}$, и выработать управление $u(r, t_0) \subset \Omega$, минимизирующее суммарные потери, т.е.

$$u^*(r, t_0) = \arg \min_{u \subset \Omega} \left\{ J(k, u, r(t_0)) / \mathcal{G}, \xi_r(t_0) \right\},$$

$$J(k, u / r(t_0)) = \sum_{k \in \mathcal{K}(t_0)} \alpha(k) + \beta(k, u). \quad (5)$$

По отношению ко времени, необходимому для решения ЗУР, выделено два класса задач. К первому классу (ЗУР 1) относятся задачи, которые должны решаться в реальном времени, они возникают в процессе реальной эксплуатации объектов при появлении критических ситуаций, т.е. здесь время принятия и реализации управленческих решений является лимитирующим фактором. Второй класс (ЗУР 2) образуют задачи анализа рисков при проектировании новых и модернизации существующих ОГХ.

Для ЗУР 1 характерны два случая – задачи со штатными (ЗУР 1.1) и нештатными (ЗУР 1.2) ситуациями. В случае ЗУР 1.1 известны модель $(\mathcal{G}, \xi_r, r \in \mathcal{R})$, допустимые вероятности критических ситуаций $p_{\text{доп}}(k), k \in \mathcal{K}$ и

множество оптимальных управленческих решений $\{u^*(k/r)\} = \bar{\mathcal{U}}$ для $k \in \bar{\mathcal{K}}, \bar{\mathcal{K}} \subset \mathcal{K}$ по предотвращению ситуации к или устранению последствий при ее возникновении. По данным мониторинга состояний функционирования $r \in \mathcal{R}$ с использованием ξ_r оцениваются вероятности $p(k/r)$. Если для ситуации \hat{k} вероятность $p(\hat{k}/r) \geq p_{\text{доп}}(\hat{k})$ и $\hat{k} \in \bar{\mathcal{K}}$, то реализуется соответствующее управление $u^*(\hat{k}/r) \in \bar{\mathcal{U}}$. Оптимальное решение в данном случае находится практически мгновенно и задача имеет вид:

$$(\forall r \in \mathcal{R}) \cap (p(\hat{k}/r) \geq p_{\text{доп}}(\hat{k})) \cap (\hat{k} \in \bar{\mathcal{K}}): u^*(\hat{k}/r) \in \bar{\mathcal{U}}.$$

В ЗУР 1.2 для состояния $r(t_0)$ ситуация \hat{k} с $p(\hat{k}/r) \geq p_{\text{доп}}(\hat{k})$ ранее не исследовалась, т.е. $\hat{k} \notin \bar{\mathcal{K}}$. В этом случае с использованием отображения ξ_r определяется время $\Delta t_{\text{пр}}$ на принятие и реализацию управленческого решения, за время $\Delta t \leq \Delta t_{\text{пр}}$ формируется множество альтернативных вариантов $\mathcal{U}(\hat{k})$ и выбирается вариант $u^*(\hat{k}) \in \mathcal{U}(\hat{k})$, при котором критерий (5) минимален, т.е. $u^*(\hat{k}/r) = \arg \min_{u(\hat{k}) \in \mathcal{U}(\hat{k})} \{J(\hat{k}, u/r) / \mathcal{G}, \xi_r, \Delta t_{\text{пр}}\}$.

В задачах второго класса, связанных с проектированием и развитием ОГХ за отведенное время требуется разработать оптимальный вариант проекта, а также модели и алгоритмы, необходимые для решения ЗУР 1.

Основную роль в ЗУР2 играет полнота исследований возможных факторов, влияющих на появление критических ситуаций. Для смягчения рисков здесь используются минимизация обобщенного показателя риска (ЗУР 2.1) и обеспечение ограничений на приемлемый риск (ЗУР 2.2). Оба подхода предполагают разработку множества альтернативных вариантов проектируемого ОГХ $\mathcal{A} = \{a_i, i = \overline{1, n}\}$ и построение для них моделей $M(a), a \in \mathcal{A}$. С использованием моделей выделяются подмножества критических ситуаций $\mathcal{K}(a)$, рассчитываются вероятности $P_{\mathcal{K}}(a) = \{p(k, a), k \in \mathcal{K}(a), a \in \mathcal{A}\}$ пребывания в этих ситуациях. Серьезные трудности при решении ЗУР 2 возникают при введении расширенного множества состояний функционирования, т.е. множество вершин \mathcal{R} графа \mathcal{G} . С учетом выделенных МКС (см. (1)-(3)) риск $Q(a)$ варианта a определяется по формуле

$$Q(a) = \sum_{j=1}^3 \sum_{k \in \mathcal{K}_j(a)} p(k). \quad (6)$$

С использованием показателя (5) задачи второго класса формулируются следующим образом:

$$\text{- ЗУР 2.1} \quad a^* = \arg \min_{a \in \mathcal{A}} \{Q(a), a \in \mathcal{A}\},$$

$$\text{- ЗУР 2.2} \quad a^* = \arg \max_{a \in \mathcal{A}} \{E(a), a \in \mathcal{A} / Q(a) \leq Q_{\text{доп}}\},$$

здесь $E(a)$ - показатель эффективности варианта a , $Q_{\text{доп}}$ - допустимый риск.

При решении задач (ЗУР 2.1), (ЗУР 2.2) определяются соотношения $\{\xi_r(a), r \in \mathcal{R}_b(a), a \in \mathcal{A}\}$ для наиболее вероятных состояний $\mathcal{R}_b \subset \mathcal{R}$ таких, что $\sum_{r \in \mathcal{R}_b} p(r) \approx 1$.

В третьей главе решаются задачи оперативного расчета вероятностей критических состояний. Так как ОГХ содержат большое число элементов и соответственно велико число элементов множеств \mathcal{S} , \mathcal{H} и \mathcal{R} , то расчет стационарных $P_r = \{p(r), r \in \mathcal{R}\}$ и нестационарных $P_r(t) = \{p(r, t), r \in \mathcal{R}, t \in [t_0, t_0 + \Delta t_{\text{пр}}]\}$ вероятностей для времени прогноза $\Delta t_{\text{пр}}$ представляет исключительно сложную как в теоретическом, так и в вычислительном плане задачу.

Наибольшую трудность представляет расчет вероятностей критических состояний $\mathcal{K}_1 \subset \mathcal{S}$. Для сокращения времени расчета предложен комбинированный метод, основанный на методах графов и граничных значений. Метод позволяет находить нижние и верхние границы риска сложных технических объектов без решения систем уравнений большой размерности. Идея метода заключается в усреднении показателей надежности составных частей объекта и преобразовании графа состояний работоспособности с целью сокращения числа вершин.

При разработке структуры РМСФ, учитываются вид множества \mathcal{S} и природа изменения ситуаций $v \in \mathcal{V}$. Смена состояний множества \mathcal{V} может происходить как случайным образом, так и в планируемые моменты времени. Если для \mathcal{V} преобладают случайные изменения состояний, то для него вводится вероятностная мера, МСФ \mathcal{H} конструируется как декартово произведение $\mathcal{H} = \mathcal{S} \times \mathcal{V}$ и на множестве \mathcal{H} строится граф $\mathcal{G}(\mathcal{H}, \mathcal{D})$. В случае, когда изменения $v \in \mathcal{V}$ в основном носят планируемый характер, например, проведение профилактических ремонтов, множество \mathcal{H} представляет собой массив множеств $\mathcal{H}_v, v \in \mathcal{V}$. Здесь граф \mathcal{G} представляет собой набор лес, т.е. набор графов $\mathcal{G}_v(\mathcal{H}_v, \mathcal{D}_v), v \in \mathcal{V}$, индекс v у $\mathcal{H}_v, \mathcal{G}_v$ показывает, что они могут изменяться со сменой состояния v . На основе рассмотренного множества \mathcal{H} и \mathcal{V} аналогичным образом формируется множество \mathcal{R} .

Сокращение числа состояний \mathcal{R} производится в два этапа: 1) преобразование графа \mathcal{G} в одноостовный \mathcal{G}_0 , при этом сокращение вершин не должно приводить к снижению вероятностей критических ситуаций - показателей риска; 2) сокращение числа вершин графа \mathcal{G}_0 .

Для графов \mathcal{G}_0 стационарные вероятности состояний функционирования определяются соотношениями

$$\forall r \in \mathcal{R}: p(r) = \beta_r \left(\sum_{r \in \mathcal{R}} \beta_r \right)^{-1}, \quad (7)$$

где β_r - интенсивность остоного дерева B_r со стоком в вершине r , равная произведению интенсивностей дуг дерева B_r .

Достоинством одноостовных графов является возможность объединения групп вершин при сохранении вероятностей состояний.

Утверждение 4. Пусть производится объединение s конечных вершин линейчатого одноостовного графа $\mathcal{G}_0(\mathcal{R}, \mathcal{D})$ с $|\mathcal{R}| = \omega + 1$, т.е. $\{r_{\omega-s+1}, \dots, r_\omega\} = \mathcal{R}_{\omega-s+1}$, тогда для графа $\mathcal{G}'_0(\mathcal{R}', \mathcal{D}')$ с $|\mathcal{R}'| = \omega - s + 2$ с объединенными вершинами при замене интенсивности дуг $\lambda_{\omega-s+1}$ и $\mu_{\omega-s+1}$ (см. рис. 2)

$$\Lambda_{\omega-s+1} = \lambda_{\omega-s+1} \sum_{i=\omega-s+1}^{\omega} \beta_i \left(\mathcal{G}_{\omega-s+1, \omega} \right), \quad M_{\omega-s+1} = \prod_{i=\omega-s+1}^{\omega} \mu_i,$$

имеет место

$$\beta'(r) = \beta(r), \quad r \in \mathcal{R} \setminus \{r_{\omega-s+1}, \dots, r_\omega\}, \quad \beta'(\mathcal{R}_{\omega-s+1}) = \sum_{i=\omega-s+1}^{\omega} \beta(r_i),$$

где $\beta_i(\mathcal{G}_{\omega-s, \omega})$ - интенсивность i -ой вершины вспомогательного подграфа $\mathcal{G}_{\omega-s, \omega}$, образованного вершинами $r_{\omega-s+1}, \dots, r_\omega$ и соответствующими дугами графа $\mathcal{G}_0(\mathcal{R}, \mathcal{D})$, $\beta'(r)$ - вероятность состояния $r \in \mathcal{R}'$.

На рис. 2 приведена схема объединения двух конечных вершин графа $\mathcal{G}_0(\mathcal{R}, \mathcal{D})$.

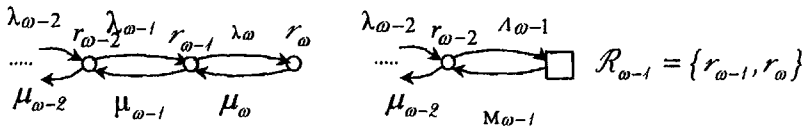


Рис. 2 Исходный линейчатый граф (а) и граф с объединенными вершинами (б)

Аналогичные утверждения получены для объединения начальных и промежуточных вершин одноостовных графов. Преобразованные графы с меньшим числом вершин используются для определения нестационарных вероятностей

состояний функционирования. При этом для повышения оперативности используются граничные значения в виде минорант и мажорант функций $p(r, t)$, $r \in \mathcal{R}'$, $t \in [0; \infty]$.

Четвертая глава посвящена решению задач управления рисками при проектировании и эксплуатации ОГХ, оценке мер риска на основе статистических данных об отказах и авариях на объектах ГК. Особенности проектирования ОГХ являются: наличие неопределенностей и рисков, высокая стоимость (большие затраты), многоэтапность и значительное время выполнения работ, невозможность гарантированного получения ожидаемого результата, необходимость использования компьютерных технологий. В качестве основных этапов (фаз) жизненного цикла (ЖЦ) проекта рассматриваются мотивация, формирование концепции, проведение научно-исследовательских работ, проектирование, производство (изготовление), внедрение и завершение. Результаты работ одного этапа используются для выполнения последующего. После завершения каждой фазы проекта принимаются ключевые решения.

Управление проектом охватывает контроль, планирование, распределение и регулирование ресурсов (трудовых, материальных, оборудования) с учетом различных ограничений (технических, бюджетных и временных) на всех этапах ЖЦ. Наиболее ответственными процедурами являются: принятие ключевых проектных решений при формулировке целей, утверждение и выполнение пакета работ. Важнейшими компонентами, которые постоянно учитываются на всех этапах ЖЦ проекта, являются риск и затраты.

Под риском проекта понимается вероятность того, что цели проекта не будут достигнуты и его выполнение не принесет ожидаемых результатов. Риск зависит от большого числа факторов, обусловленных недостаточной информацией и случайной природой явлений, от которых зависит успех проекта. К этим факторам относятся нестабильность экономической и политической ситуации, действия конкурентов, не абсолютная надежность производства, ошибки персонала и т.д. Основным способом снижения риска являются увеличение числа альтернативных вариантов на стадиях ЖЦ и качество их исследования, однако затраты в данном случае возрастают. Предложена модель для управления проектами, учитывающая риски, затраты и число вариантов на каждом этапе ЖЦ. В основе модели лежит принцип динамической вариантности (ДВ), идея которого заключается в следующем.

На первом этапе проектирования формируется множество (группа) альтернативных вариантов, которые начинают разрабатываться параллельно. После каждого этапа производится сеанс экспертизы и принимается решение о приоритетности вариантов и составе группы. Принцип базируется на следующих предположениях: 1) на каждой фазе выполнения проекта рассматривается несколько альтернативных вариантов; 2) состав группы вариантов после завершения очередной фазы может изменяться; 3) в качестве основного критерия при сравнении вариантов рассматривается вероятность достижения успеха (получения желаемого результата); 4) для каждой фазы ЖЦ характерны свои признаки генерации вариантов, например, способы действия объекта, техническое исполнение, учет возможных критических состояний и др.; 5) исключение "неперспективных" вариантов производится условно, в случае необходимости к ним можно возвращаться и

продолжить их разработку; б) исходные данные задачи проектирования по мере поступления новой информации в ходе жизненного цикла проекта корректируются и часть расчетов пересматривается (по принципу обратной связи).

В предположении, что ЖЦ проекта включает предпроектную и σ стадий проектирования, на j -ом этапе разрабатывается множество альтернативных вариантов A_j , тогда общие затраты на выполнение проекта z_{Π} равны

$$z_{\Pi} = z_0 + \sum_{j=1}^{\sigma} \sum_{a_i \in A_j} z_j(a_i) + \sum_{j=0}^{\sigma} z_j^3, \quad (8)$$

где z_0 - затраты на выполнение предпроектной стадии; $z_j(a_i)$ - затраты на выполнение работ по варианту a_i на j -ой стадии; z_j^3 - затраты на проведение сеанса экспертизы при завершении j -го этапа.

В общем случае составляющие затрат z_j^3 , $j = \overline{1, s}$ зависят от числа вариантов ω_j . Если события, заключающиеся в успешном выполнении работ по вариантам и стадиям, являются независимыми, риск проекта Q_{Π} определяется по формуле

$$Q_{\Pi} = 1 - (1 - q_0) \prod_{j=1}^{\sigma} \left(1 - \prod_{a_i \in A_j} q_j(a_i) \right), \quad (9)$$

где q_0 - риск для предпроектной стадии; $q_j(a_i)$ - риск варианта a_i на j -ой стадии.

Из формул (8), (9) видно, что с увеличением числа рассматриваемых вариантов затраты z_{Π} увеличиваются пропорционально числу вариантов. Риск проекта Q_{Π} с ростом числа вариантов ω_j уменьшается по зависимости, близкой к гиперболической.

Процесс проектирования описывается функциональной моделью в формате IDEFO, дополненной узлами принятия решений. Основу функциональной модели описания процессов на различных стадиях проектирования составляют узлы из двух блоков - блока действия и блока принятия решения или сеанса экспертизы, а также входы, выходы, управления, механизмы или ресурсы, критерий и метод, эксперты и результаты решения.

Снижение риска Q_{Π} при использовании принципа ДВ достигается за счет непосредственного рассмотрения нескольких вариантов, возможности изменения состава группы альтернативных вариантов по результатам выполнения отдельных этапов, анализа вариантов и принятия решения после каждого этапа, использования информации, поступающей в ходе проектирования, пересмотра ранее принятых решений на основе новой информации, существенной для проекта и применения нескольких критериев при сопоставлении вариантов.

Для решения задач управления рисками с использованием количественных значений вероятностей критических ситуаций и оценок других мер риска собран и обработан статистический материал об инцидентах на ОГХ Тамбовской области. В табл. 2 даны примеры наиболее часто встречающихся отказов оборудования и аварий.

Таблица 2

Наименование оборудования	Частота отказов, аварий 1 / час	Примечание
Шкафные распределительные пункты	0,095	Зимний период 2001 / 2002 г.г.
Газораспределительные пункты	0,041	Зимний период 2001 / 2002 г.г.
Аварийные ситуации без тяжелых последствий	0,295	2003 г.
В т.ч. надземные газопроводы (ГП)	0,020	
Подземные ГП	0,035	
Внутридомовые газовые сети	0,185	
Регуляторные станции и пункты	0,023	
Аварии с тяжелыми последствиями	0,0018	

На рис. 3 приведены плотности распределения времени работы между авариями, в том числе с тяжелыми последствиями.

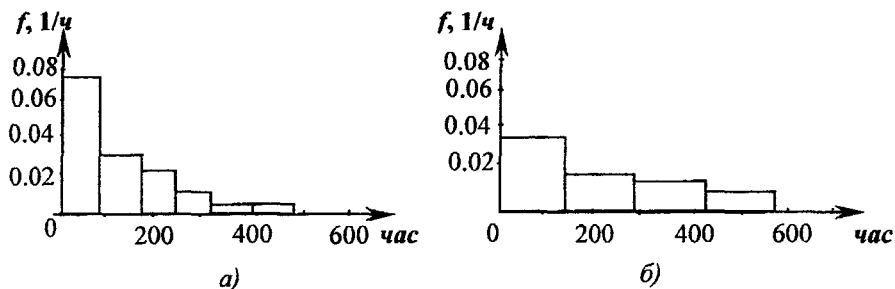


Рис. 3 Гистограммы для времени между аварийными ситуациями без тяжелых последствий (а) и с тяжелыми последствиями (б)

Основные результаты работы.

Результаты обработки статистических данных оценки числовых характеристик и выборочные функции распределения исследуемых случайных величин - времени работы между происшествиями различных категорий, значения ущерба и

др. Полученные сведения внесены в базу данных ОАО "Тамбовоблгаз". На их основе решаются задачи организации мониторинга состояния ОГХ, определения структуры и состава ремонтной службы, принятия проектных и управленческих решений.

Сформулированы задачи управления рисками при проектировании объектов газового хозяйства и управления объектами в процессе эксплуатации.

Введено расширенное множество состояний функционирования ОГХ, которое интегрированно учитывает надежность оборудования, влияние внутренних и внешних воздействий. Разработана вероятностная модель функционирования ОГХ в виде графа, позволяющая решать задачи мониторинга текущих состояний и оценки риска.

Предложена классификация критических ситуаций и алгоритмы оперативного расчета риска.

Разработаны способы и алгоритмы преобразования графов состояний функционирования для оперативного расчета стационарных вероятностей критических состояний.

Разработан метод динамической альтернативности при управлении проектами на этапах жизненного цикла, предусматривающий минимизацию риска.

Созданы программные модули информационной системы ОАО "Тамбовоблгаз" для автоматизированного расчета рисков и принятия решений по управлению рисками при проектировании и в процессе эксплуатации. Использование программных продуктов позволило на порядок сократить время решения задач управления рисками с количественными показателями

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. *Блохин С.А.* Новые технологии в газовой промышленности. IV Всероссийская конференция. Тезисы докладов. ОАО "Газпром", РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2001 г., с. 6.
2. *Блохин С.А.* Информационная система предприятия. Региональная конференция молодых специалистов / Анапа, Москва, 2001 г. ОАО "Газпром", Сб. науч. ст. молодых ученых и специалистов.
3. *Блохин С.А.* Динамическая вариантность (альтернативность) при управлении проектами. / *Блохин С.А., Козлов А.И., Муромцев Д.Ю.* – Вестник ТГТУ, № 3, т. 9, 2003. – с. 390-405.
4. *Блохин С.А.* Задачи управления рисками на объектах газового хозяйства. – Вестник ТГТУ, № 4, т. 9, 2003. – с. 762 – 766.
5. *Блохин С.А.* Информационные процессы управления рисками в системе газоснабжения. – В сб. науч. трудов. Информационные системы и процессы. – Тамбов; Н; СПб; Баку, Вена. Изд. "Нобелистика", 2003. – Вып. 1. – с.170 – 172.
6. *Блохин С.А.* Метод динамической альтернативности при управлении высокотехнологичными проектами. – Системный анализ в проектировании и управлении. / *Блохин С.А., Муромцев Д.Ю.* – Труды VII-й международной научно – практической конференции: - Санкт-Петербург. – Изд. СПб. ГПУ, 2003, - с. 566 – 567.
7. *Блохин С.А.* Расширение понятия состояний работоспособности сложных технических систем в задачах управления рисками. // *Блохин С.А., Муромцев Д. Ю.* / Надежность Москва, №4, 2003 г. с.3-8.



Подписано к печати 20.11 2003г.
Формат 60 x 84/16. Гарнитура Times New Roman Бумага офсетная Печать офсетная
Объем 0,93 усл. печ. л.; 1,0 уч.-изд.л
Тираж 100 экз. С 425

Издательско-полиграфический центр
Тамбовского государственного технического университета
392000, Тамбов, Советская, 106, к 14

2003-A
20574

20574