

СЦЕНАРНОЕ ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПАСНОЙ СИТУАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПК АРБИТР

И. А. Гладкова, А. А. Струков, А. В. Струков (Санкт-Петербург)

Судоходной морской индустрии присущи многочисленные риски нежелательных событий. На каждое судно влияет множество факторов природного, экономического и социального характера.

В 1993 году Международная морская организация (ИМО) приняла «Международный кодекс по управлению безопасной эксплуатацией судов и предотвращению загрязнения» (МКУБ), требующая внедрения судовладельцами систем управления безопасностью, базирующихся на анализе и защите от выявленных рисков.

Современным методическим подходом к оцениванию риска в морской индустрии является формальная оценка безопасности (ФОБ). Относительно новый для морской индустрии, этот метод давно известен во многих видах промышленности, таких как атомная промышленность и исследование космоса. ФОБ выражает собой существенное изменение в подходе к вопросам безопасности – от подхода «реагирующего» до подхода «проактивного», с опережением событий. Формальная оценка безопасности – это структурированная и систематическая методика, направленная на повышение безопасности в море, что включает в себя защиту жизни, здоровья моряков, окружающей среды и имущества посредством анализа риска и сравнительного анализа затрат и результатов.

Формальная оценка безопасности включает в себя следующие этапы [1]:

1. выявление, идентификация опасности;
2. анализ риска;
3. система управления рисками;
4. оценка затрат и результатов;
5. рекомендации для принятия решений.

Схема процесса ФОБ показана на рис. 1.

Данная статья посвящена решению задач второго этапа процесса ФОБ – анализу риска, а именно количественной оценки вероятности происшествия событий, влекущих за собой нежелательные события.

В настоящее время наиболее распространенными методиками вероятностного анализа риска (ВАР) являются методики деревьев неисправностей (ДН) и деревьев событий.

ДН – это логическая диаграмма, показывающая причинную связь между событиями, которые произошли вместе или совместно и вызвали происшествие на более высоком уровне. В области анализа риска ДН иногда называют деревьями ошибок. Анализ ДН – алгоритм построения последовательности событий, исходящих из основного события.

Дерево событий (ДС) – это логическая диаграмма, используемая для анализа факторов, влияющих на аварию, поломку или нежелательное событие. Диаграмма показывает вероятность или частоту аварии, объединенные с теми мерами предосторожности, которые необходимо предпринять после случившегося для того, чтобы минимизировать или предотвратить увеличение его масштабов.

Построение ДС – это логическое представление различных событий, которые могут последовать после иницирующего. Ветви показывают различные вероятности, которые могут возникнуть на каждом этапе.

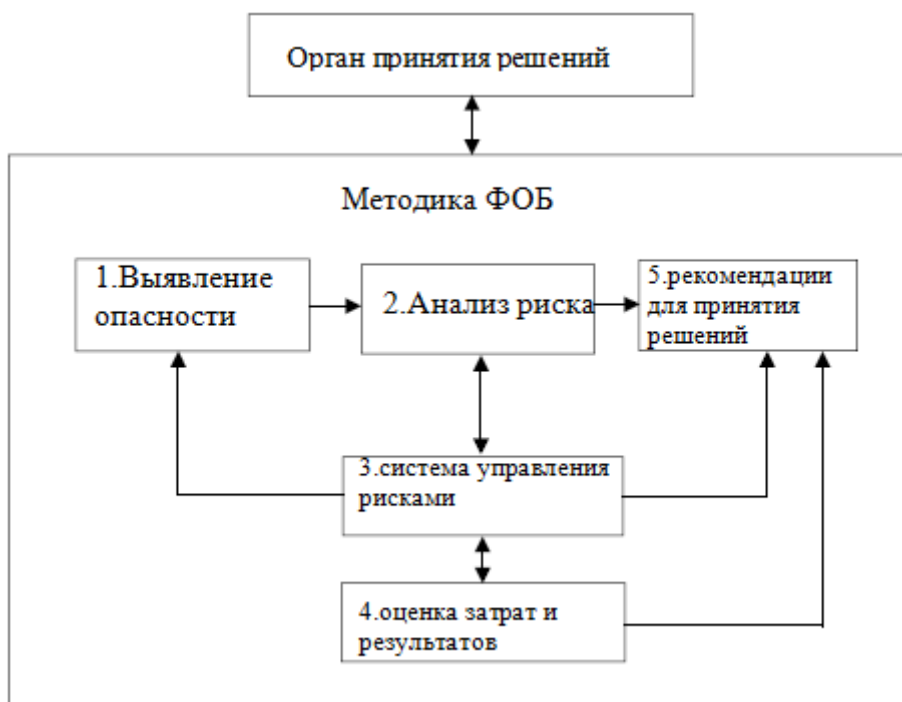


Рисунок 1. Схема процесса ФОБ

Наиболее эффективным системным инструментом анализа риска является сценарное моделирование с использованием, так называемых, объединенных ДН и ДС (ДНС), которые в документах ИМО получили название RCT (Risk Contribution Trees) – деревья для анализа рисковых последствий.

ДНС – комбинация деревьев неисправностей и деревьев событий, которая может быть использована как механизм представления в виде диаграммы, показывающий вклад в общий риск отдельных категорий аварий и опасностей.

Сценарий происшествия, аварии – это последовательность событий от начальной до финальной стадии. В этом плане графические возможности ДС позволяют наиболее наглядно и удобно реализовать основные задачи сценарного моделирования для создания и вариантной проработки различных сценариев развития опасных состояний.

Основным смыслом использования ДНС является представление отдельных событий ДС, начиная с инициирующего события, в виде ДН. Графические возможности ДН позволяют в удобной и наглядной форме представить взаимосвязь и влияние отдельных факторов на вероятность реализации событий на всех стадиях развития опасного состояния.

На современном этапе развития программного обеспечения существуют различные формы и методы компьютерной реализации методов ДН и ДС. Некоторые программы, разработанные компаниями Isograph, РТС (бывший Relex), ReliaSoft позволяют осуществлять взаимосвязь отдельных фрагментов ДН, ДС и структурных схем надежности (блок-схем надежности) на уровне взаимосвязи отдельных модулей программ, реализующих эти методы.

Программный комплекс «АРБИТР» [4] позволяет реализовать технологию ДН, ДС и блок-схем надежности в рамках одного графического интерфейса.

Пример реализации метода ДНС для анализа развития аварийной ситуации с использованием ПК «АРБИТР» разработан на основе описания оценки риска взрыва в отсеке подводной лодки [2].

При работе аккумуляторных батарей (АБ) водород удаляется с помощью оборудования дожига. При сбое в работе системы дожига водорода для недопущения повышения концентрации газа в помещении по сигналу от автоматики газоанализаторов включается вентилятор. Работа автоматики системы дожига постоянно контролируется стационарными и переносными газоанализаторами, по сигналу которых вентилятор включается вручную оператором. Взрыв водорода может произойти при достижении взрывоопасной концентрации из-за отсутствия вентиляции, а также наличия очага воспламенения смеси. Очагами воспламенения может быть искрение ошиновки в помещении или курение личного состава.

Таким образом, сценарий аварии включает в себя следующие этапы:

- отказ оборудования системы дожига;
- отказ автоматики газоанализаторов и отсутствие сигнала на автоматическое включение вентилятора;
- отказ стационарных и переносных газоанализаторов и отсутствие сигнала об опасной концентрации водорода;
- ошибка оператора и пропуск сигнала на ручное включение вентилятора;
- отказ вентилятора;
- наличие источника воспламенения.

Сценарий развития аварии, реализованный в виде ДНС на ПК АРБИТР, представлен на рис. 2.

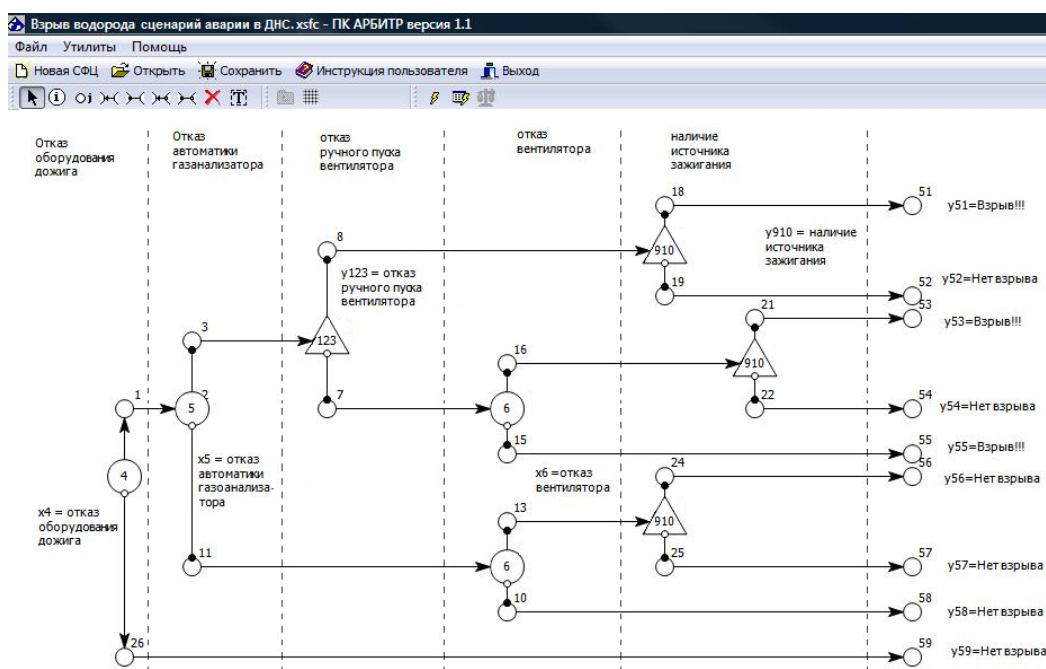


Рисунок 2. Сценарий развития аварии, реализованный в виде ДНС

На рис. 2 узлы дерева событий изображены кружками и треугольниками с цифрами внутри фигур. В графическом редакторе ПК «АРБИТР» фигуры с цифрами внутри обозначают функциональные и эквивалентированные вершины схемы функциональной целостности (СФЦ). Функциональная вершина – это графическая модель отдельного элемента-события исследуемой системы. Ее аналитическими аналогами в логических моделях выступают простые логические переменные, а в вероятностных моделях – характеристики, определяющие вероятности свершения соответствующих собственных случайных событий. Эквивалентированная вершина является эквивалентом

(подграфом) другой СФЦ. Эквивалентированная вершина может иметь собственную структуру и служит для сокращения размерности основного графа [3].

На рис. 3, а и 3, б представлены обозначения эквивалентированных вершин № 123 и 910 и их собственные структуры.

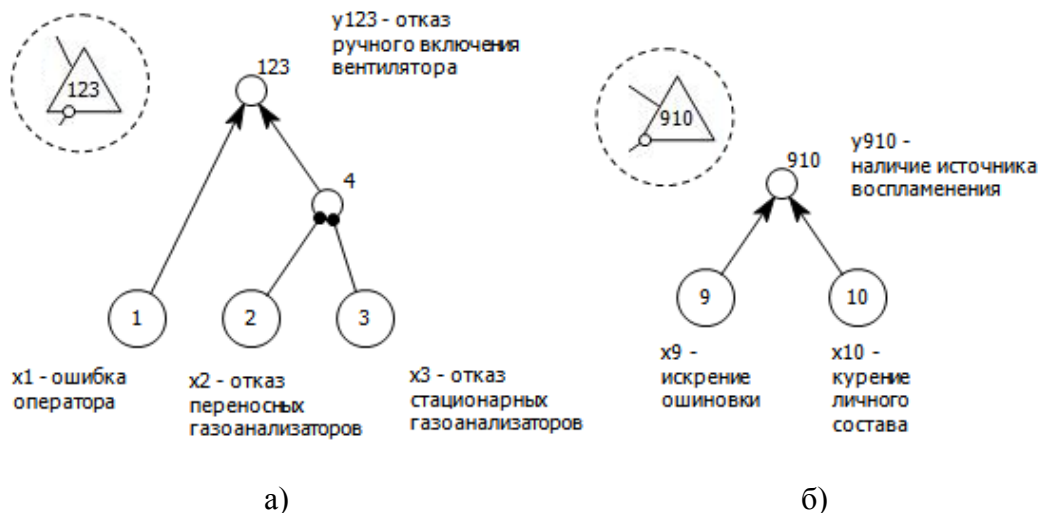


Рисунок 3. Структура эквивалентированных вершин №123 (а) и № 910 (б)

В отличие от функциональных, фиктивные вершины не представляют никаких элементов моделируемой системы и служат только для удобства графического представления сложных логических связей и отношений между различными интегративными функциями [3].

В табл. 1 приведены исходные данные для решения задачи анализа вероятности опасного состояния – взрыва водорода [2].

Таблица 1

Исходные данные для оценки вероятности взрыва водорода

Событие	№№ вершины СФЦ (рис. 1, 2)	Вероятность реализации события
Ошибка оператора	1	0.01
Отказ переносных газоанализаторов	2	0.001
Отказ стационарных газоанализаторов	3	0.001
Отказ автоматики оборудования дожига	4	0.001
Отказ автоматики газоанализатора	5	0.001
Отказ вентилятора	6	0.001
Искрение ошиновки	9	0.001
Курение личного состава	10	0.01

Из рис. 2 видно, что существует три сценария опасного состояния (взрыва водорода), логические условия реализации которых соответствуют логическому критерию в виде дизъюнкции $u_{51}+u_{53}+u_{56}$. Решение данной задачи на ПК АРБИТР приводит к получению решения $Y_{ав}$ в виде дизъюнктивной нормальной формы вида:

$$Y_{ав} = y_{51} \vee y_{53} \vee y_{56} = X_4 X_{123} X_{910} \vee X_4 X_6 X_{910}. \quad (1)$$

Ортогонализация логической функции (1) по первой конъюнкции приводит к следующему результату.

$$Y_{ав} = X_4 X_5 X_{123} X_{910} \vee X_4 \overline{X_5} X_6 X_{910} \vee X_4 X_5 \overline{X_{123}} X_6 X_{910}. \quad (2)$$

Выражение (2) является ортогональной ДНФ, то есть такой формой записи логической функции, при которой получение вероятностной функции происходит заменой логических переменных вероятностями истинности соответствующих событий, а логические действия дизъюнкции и конъюнкции заменяются арифметическими действиями сложения и умножения.

Кроме того, выражение (2) может быть интерпретировано как описание трех сценариев развития аварии.

Первый сценарий ($X_4 X_5 X_{123} X_{910}$) – отказ оборудования дожига – отказ автоматического и ручного включения вентилятора – наличие источника воспламенения.

Второй сценарий ($X_4 \overline{X_5} X_6 X_{910}$) – отказ оборудования дожига – формирование сигнала от автоматики газоанализатора – отказ вентилятора – наличие источника воспламенения.

Третий сценарий ($X_4 X_5 \overline{X_{123}} X_6 X_{910}$) – отказ оборудования дожига – отказ автоматики газоанализатора – формирование сигнала ручного включения вентилятора – отказ вентилятора – наличие источника воспламенения.

В заключение необходимо отметить, что возможности графического интерфейса ПК АРБИТР позволяют не только формировать граф в виде объединения деревьев неисправностей и деревьев событий (ДНС). Применение эквивалентированных вершин предоставляет возможность расширенного толкования (детализации) причин и факторов, приводящих к отказам оборудования и личного состава. При этом исходная СФЦ имеет компактный вид, и, по выражению профессора И.А.Рябинина, позволяет «...за деревьями увидеть лес» [2].

Литература

1. MSC/Circ.1023: Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process. IMO, UK, 2002.
2. **Рябинин И.А.** Надежность и безопасность структурно-сложных систем (2-е издание). СПб: Изд-во СПбГУ, 2007. -276с.
3. **Поленин В.И., Рябинин И.А., Свиринов С.К., Гладкова И.А.** Применение общего логико-вероятностного метода для анализа технических, военных организационно-функциональных систем и вооруженного противоборства/ Под научным редактированием Можяева А.С. СПб.: НИКА, 2011.
4. АРБИТР. Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности и безопасности АСУТП на стадии проектирования (ПК АСМ СЗМА), базовая версия 1.0. Автор: Можяев А.С. Правообладатель: ОАО "СПИК СЗМА". Свидетельство № 2003611101 от 12 мая 2003 г. об официальной регистрации программ. Роспатент РФ, Москва, 2003. Аттестационный паспорт ПС №222 от 21 февраля 2006 г., Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) РФ.