

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 оценке 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 события.

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.

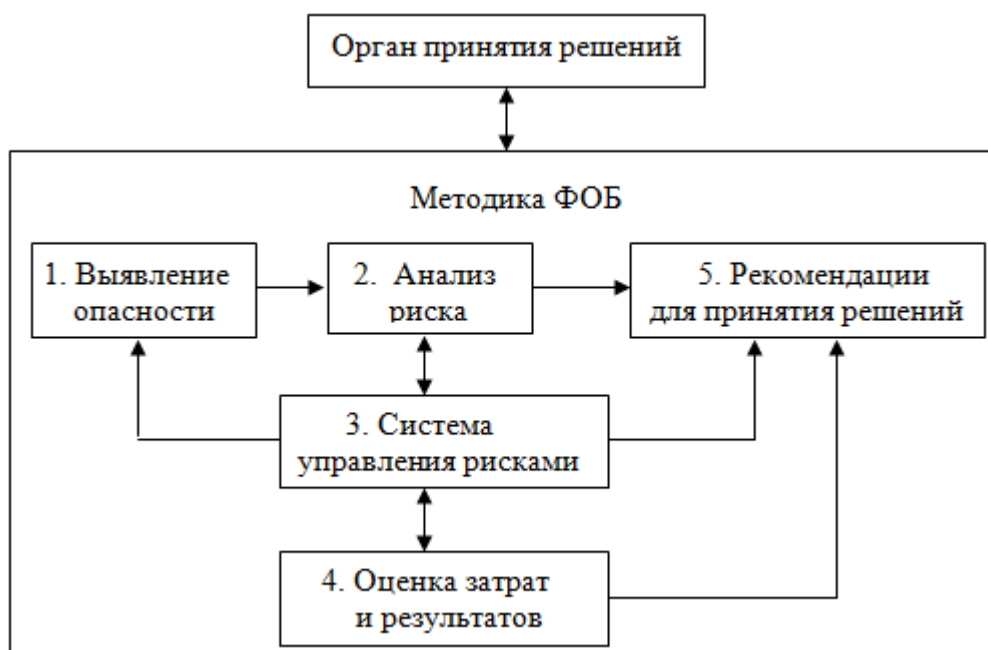


Рисунок 1 – Схема процесса ФОБ

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 инициирующего события. Ветви показывают различные вероятности, которые могут возникнуть на каждом этапе.

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.

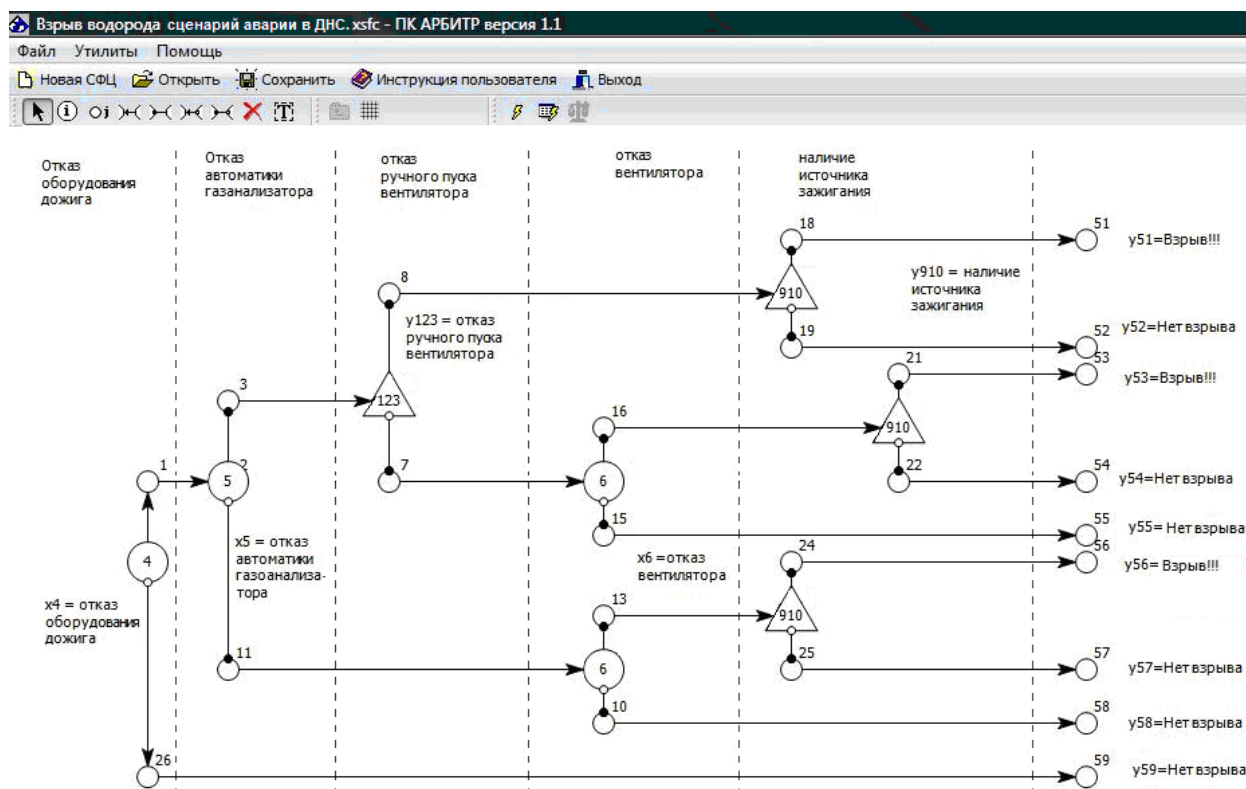


Рисунок 2 – Сценарий развития аварии, реализованный в виде ДНС

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

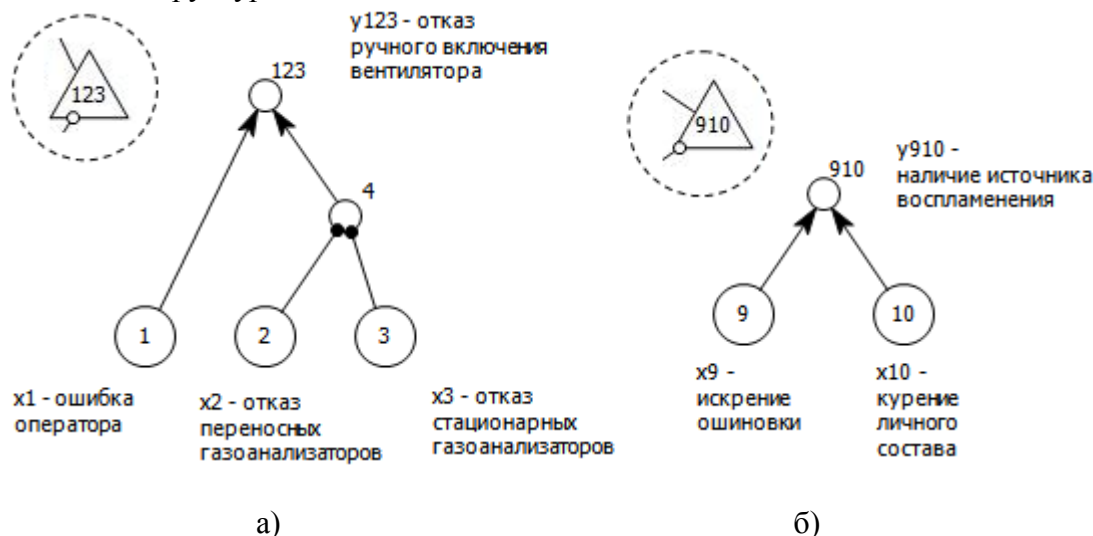


Рисунок 3 – Структура эквивалентированных вершин №123 (а) и № 910 (б)

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 $Y_{51} \vee Y_{53} \vee Y_{56}$. Решение данной задачи на ПК АРБИТР приводит к получению логической функции опасного состояния (ФОС) Y_{oc} в виде дизъюнктивной нормальной формы вида:

$$Y_{oc} = y_{51} \vee y_{53} \vee y_{56} = X_4 X_5 X_{123} X_{910} \vee X_4 X_6 X_{910}. \quad (1)$$

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

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

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.

Для исходных данных, приведенных в табл.1 вероятность взрыва водорода равна $P_{oc} = P\{Y_{oc} = 1\} = 1.10988 \cdot 10^{-8}$.

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., Свирин С.К., Гладкова И.А. Применение общего логико-вероятностного метода для анализа технических, военных организационно-функциональных систем и вооруженного противоборства/ Под научным редактированием Можаява 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: Можаяв 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.