

Рис. 2.5.5. Схема анализа риска аварий при эксплуатации объектов судовождения

2.6. Методика анализа риска объектов инфраструктуры мореплавания

Методика анализа риска объектов инфраструктуры мореплавания базируется на использовании комплекса моделей безопасности. Процедура анализа включает в себя следующие шесть этапов [13]:

- 1) анализ надежности основного технологического оборудования водной транспортной системы (ТС);
- 2) анализ надежности системы противоаварийной защиты ТС;
- 3) анализ сценариев развития аварии;
- 4) оценка последствий аварии;
- 5) расчет значений показателей риска;
- 6) выработка рекомендаций по управлению риском.

Анализ риска, в общем случае, является многоитерационной процедурой, в которой на каждом этапе учитываются результаты, полученные на каждом из предыдущих этапов. Реализация (планирование) мероприятий по управлению риском приводит к изменению структуры и характеристик основного оборудования и систем защиты. В результате любое принятое решение приводит

к изменению полученных ранее показателей риска. Рассмотрим содержание этапов анализа риска.

Анализ надежности оборудования ТС включает обследование объекта и создание системы моделей, описывающих функционирование технологического оборудования в штатных режимах использования. Источником данных для разработки моделей являются:

- описание технологического процесса блока или установки;
- структурные, функциональные и технологические схемы блока;
- сведения о режимах работы, характеристиках надежности и иных характеристиках основного и вспомогательного технологического оборудования.

Анализ надежности оборудования ТС направлен на выявление «слабых» мест на основе оценки вероятности возникновения опасных ситуаций вследствие отказов оборудования. Технологическое оборудование включает основное и вспомогательное оборудование, а также кабельные линии связи.

С учетом анализа надежности оборудования разрабатывается стратифицированный комплекс моделей, включающий несколько уровней стратификации (слоев детализации). Число выделяемых уровней и глубина детализации схем определяется поставленными задачами моделирования.

На верхних уровнях иерархии предметом анализа является структура объекта исследования и функциональные связи между различными элементами структуры. На нижних уровнях иерархии предметом анализа является функциональная структура и особенности технологического процесса. При анализе работы оборудования учитывается его собственная надежность, надежность систем снабжения электроэнергией, водой, топливом и другими необходимыми ресурсами.

Оборудование в схемах нижнего уровня можно условно разделить на три группы:

- *основное технологическое оборудование*, обеспечивающее выполнение технологического процесса; для описания технологического процесса используется *модель надежности*;

– *защитное оборудование*, обеспечивающее защиту стабилизатора при возникновении потенциально опасных ситуаций; для описания функционирования защитного оборудования используется *модель безопасности*;

– *вспомогательное оборудование* (например, приводы насосов и т. п.).

Для выполнения анализа надежности установки сформируется банк данных, содержащий сведения по надежности, защищенности и другим характеристикам оборудования, а также разрабатываются модели, описывающие штатное функционирование установки и ее элементов в ходе технологического процесса. Входной информацией являются показатели надежности и технического состояния оборудования. Выходной информацией являются вероятности безотказной работы или вероятности отказа оборудования, узлов, блоков и установок в целом.

Функции управления риском, относящиеся к данному этапу, заключаются в организации технического обслуживания и ремонта, позволяющего исключить отказы оборудования в период между регламентными работами и повысить надежность оборудования.

Анализ надежности системы противоаварийной защиты включает обследование объекта и создание комплекса моделей, описывающих функционирование технологического оборудования и систем противоаварийной защиты при опасных отклонениях параметров технологического процесса.

Модели в процедуре анализа надежности системы противоаварийной защиты разрабатываются на основе данных, полученных из различных источников:

- описание технологического процесса блока (установки);
- структурные, функциональные и технологические схемы блока;
- описание и схемы системы противоаварийной защиты;
- сведения о режимах работы, характеристики надежности и иные характеристики оборудования систем защиты.

Целью данного этапа является выявление «слабых» мест и оценка вероятности возникновения потенциально опасных ситуаций вследствие отказов технологического оборудования и систем противоаварийной защиты.

Общая методология анализа надежности систем противоаварийной защиты в целом аналогична методологии анализа основного оборудования. Существенной особенностью является то, что основой для анализа надежности систем защиты являются результаты анализа потенциально опасных ситуаций.

Для анализа надежности систем защиты установки формируется банк данных, содержащий сведения по надежности, защищенности и другим характеристикам оборудования и устройств защиты, а также разрабатываются модели, описывающие функционирование устройств защиты при возникновении опасных факторов.

Входной информацией являются показатели надежности и технического состояния оборудования и устройств защиты. Выходной информацией являются вероятности безотказной работы или вероятности отказа устройств защиты, а также вероятность возникновения опасной ситуации как следствие неспособности системы защиты исключить развитие опасных факторов.

Функции управления риском, относящиеся к данному этапу, заключаются в организации системы технического обслуживания и ремонта средств противоаварийной защиты, задачей которой является исключение отказов оборудования и повышение надежности систем противоаварийной защиты.

Анализ сценариев развития аварии включает исследование всех возможных вариантов аварии, определение факторов, способствующих или препятствующих развитию аварии, а также создание комплекса моделей, описывающих выделенные сценарии развития аварий.

Целью данного этапа является определение места и объемов выброса опасных веществ, типов веществ и возможных вариантов развития аварии. Схема типового сценария развития аварии изображена на рисунке 2.6.1 [13].

Анализ сценариев развития аварии выполняется в следующем порядке:

1. Выделяются все потенциально опасные факторы, способные привести к опасным ситуациям и в дальнейшем к авариям.

Под *опасным фактором* понимается выход параметров технологического процесса за допустимые пределы, приводящие к возможности возникновения опасных ситуаций.

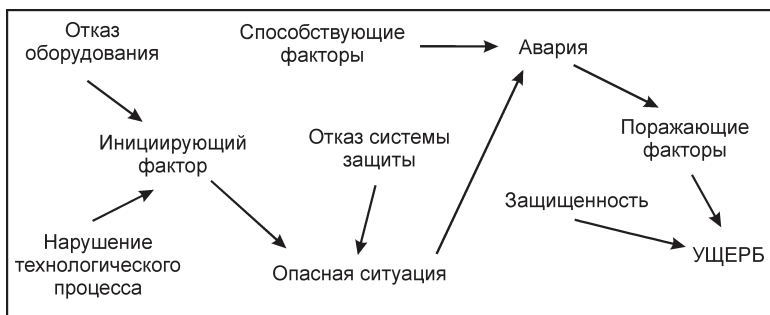


Рис. 2.6.1. Типовой сценарий развития аварии

2. Определяются возможные опасные ситуации для каждого опасного фактора.

Под *опасной ситуацией* понимается состояние оборудования, узла, блока или установки, при котором имеется потенциальная возможность возникновения аварии, – разрушение оборудования, утечки или выброс веществ и т. п.

3. Определяется для каждой опасной ситуации перечень факторов, которые способствуют или препятствуют возникновению аварии.

4. Определяются поражающие факторы, возникающие при аварии и определенных способствующих факторах.

Для анализа сценариев развития аварий формируется банк данных, который содержит сведения по надежности, защищенности и другим характеристикам оборудования и устройств защиты, а также разрабатываются модели, описывающие развитие опасных факторов и влияние способствующих факторов.

Входной информацией являются вероятности безотказной работы оборудования и устройств защиты. Выходной информацией являются вероятности возникновения различных аварийных ситуаций.

Управление риском на данном этапе заключается в организации инженерно-технических мероприятий, которые направлены на исключение факторов, способствующих развитию аварии.

Оценка последствий аварии состоит в исследовании всех возможных вариантов развития аварии и определении ее последствий.

Мерой оценки последствий в зависимости от решаемой задачи анализа риска является *ущерб*. Целью данного этапа является

определение величины возможного ущерба от аварии и оценка возможных потерь.

Мерой ущерба при оценке социального риска являются жертвы среди обслуживающего персонала и гражданского населения, при оценке технического риска – возможные разрушения оборудования и т. п.

Оценка последствий аварии выполняется с использованием аналитических моделей, которые описывают потенциально возможные для рассматриваемого объекта (установки) виды аварий.

Обобщенная классификация аварий приведена в таблице 2.6.1 [13].

Таблица 2.6.1

Классификация последствий аварий

Опасная ситуация	Сценарий аварии	Последствия	Вероятность возникновения
разгерметизация оборудования, мелкая течь	→ образование пролива → образование газового облака	→ пожар → взрыв облака	→ низкая → низкая
повреждение и разгерметизация оборудования, крупная течь	→ образование пролива → образование газового облака → образование токсичного газового облака	→ пожар → взрыв облака, факельное горение, огненный шар → взрыв, химическое заражение	→ высокая → высокая средняя низкая → высокая
разрушение оборудования, выброс больших объемов вещества	→ образование пролива → образование газового облака → образование токсичного газового облака	→ пожар, взрыв → факельное горение, взрыв облака, огненный шар → взрыв, химическое заражение	→ высокая → высокая высокая низкая → высокая

Анализ последствий аварий выполняется с учетом факторов, способствующих реализации их различных сценариев.

Модель аварии учитывает особенности технологического процесса и функционирования систем защиты и включает три этапа.

На первом этапе определяются потенциально опасные ситуации и их возможные последствия:

- выброс больших объемов сырья под давлением в результате разрушения оборудования;
- крупная течь в результате появления нарушения герметичности или появления дефектов оборудования (например, трещин);
- мелкая течь в результате нарушения герметичности.

На втором этапе определяются факторы, способствующие возникновению и развитию аварии в зависимости от класса выбрасываемого вещества и вида опасной ситуации. Например, если рабочим телом в стабилизаторе давления является летучая легковоспламеняющаяся жидкость, то способствующими факторами является наличие источников открытого огня, источников искрения и нагретых поверхностей.

На третьем этапе определяются сценарии и формируется модель развития аварии.

Функциями управления риском на данном этапе являются оповещение персонала, введение в действие планов эвакуации и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Расчет значений показателей риска. Риск аварии R определяется как математическое ожидание вероятности возникновения потенциально опасных факторов и возможного ущерба от аварии

$$R = p_{\text{оф}} C, \quad (2.6.1)$$

здесь $p_{\text{оф}}$ – вероятность проявления потенциально опасных факторов, следствием которых может быть авария; C – ожидаемый ущерб от действия рассматриваемых опасных факторов в случае возникновения аварии.

Вероятность $p_{\text{оф}}$ является функцией надежности различных групп оборудования, эффективности функционирования персо-

нала, условий, способствующих развитию аварий, и вычисляется с использованием моделей надежности и безопасности в виде:

$$P_{\text{ОФ}} = f(H_{\text{ОО}}, H_{\text{АЗ}}, H_{\text{ВО}}, H_{\text{П}}, \text{ОФ}), \quad (2.6.2)$$

где $H_{\text{ОО}}$, $H_{\text{АЗ}}$, $H_{\text{ВО}}$ – надежность основного оборудования, аварийной защиты и вспомогательного оборудования; $H_{\text{П}}$ – надежность обслуживающего персонала (операторов) установки; ОФ – наличие условий (способствующих факторов) для развития аварии при наличии опасных факторов (вероятность или интенсивность возникновения способствующих факторов).

Ожидаемый ущерб C определяется с использованием *моделей оценки последствий аварий*. На основании сведений о месте аварии, действующих опасных факторах, объеме и составе участвующих в аварии опасных веществ рассчитываются зоны поражения (действия опасных факторов – ударной волны, термического воздействия, химического заражения и др.) и с использованием картографического блока системы управления безопасностью судоходства (СУБ) определяются объекты, попавшие в зоны поражения. В зависимости от выбранного для оценки риска критерия (социальный риск, территориальный риск и т. д.) определяется ожидаемый ущерб C либо как материальный ущерб от аварии (прямой и косвенный), либо как число возможных жертв аварии.

2.7. Моделирование аварий при перевозках опасных грузов

В большинстве случаев развитие первичной аварии (например, нарушение герметичности танка) непосредственно не ведет к проявлению опасных факторов – заражению территорий (при химической аварии), разрушению оборудования (при взрывах и пожарах), поражению экипажа. Проявление поражающих факторов в большинстве случаев возникает при наличии сопутствующих условий, в частности [13]:

– для химической аварии – это температура окружающей среды, сила и направление ветра, состояние атмосферы;

– для взрывов и пожаров – это наличие взрывопожароопасных концентраций вещества, источников огня или нагрева, избыточного давления в емкостях.

Модель развития аварии судна, перевозящего опасные грузы (химически опасные, пожароопасные или взрывоопасные), приведена на рисунке 2.7.1.



Рис. 2.7.1. Модель формирования опасных факторов при авариях судов, перевозящих опасные грузы

Анализ большого числа аварий на судах, перевозящих опасные грузы, позволяет утверждать, что в качестве первичных поражающих факторов выступают в соответствии с рисунком 2.7.1 следующие:

- повреждение заправочного оборудования (вершина 1), вызванное неисправностями запорных устройств или трубопроводов для приема груза (легковоспламеняющейся жидкости – ЛВЖ);
- авария ходовой части (вершина 2), вызванная неисправностями или столкновением с другим судном или посторонним объектом;
- опрокидывание судна (вершина 3) в результате неправильных маневров или при столкновении с другим судном или посторонним объектом.

В рассматриваемом примере критериями опасности являются вероятности возникновения химического заражения (вершина 101), взрыва паров легковоспламеняющейся жидкости (вершина 102), пожар разлива опасного вещества (вершина 103), возникновение «огненного шара» (вершина 104) и комбинированный сценарий, включающий все перечисленные критерии.

Для описания сценария развития аварии использован аппарат *схем функциональной целостности*, который основан на общем логико-вероятностном методе и, в основном, удовлетворяет требованиям к моделям, используемым для решения задач анализа риска. Описание элементов модели и принятые при моделировании значения вероятностей событий приведены в таблице 2.7.1.

Таблица 2.7.1

Исходные данные для моделирования

Номер элемента	Параметр (описание вершины)	Значение вероятности
1	2	3
Вероятности возникновения аварийных факторов (в течение 1 года)		
1	Разрушение заправочного оборудования	0,0839
2	Авария ходовой части с повреждением хранилища (танка)	0,0839
3	Опрокидывание с повреждением хранилища (танка)	0,0009
Номер элемента	Параметр (описание вершины)	Значение вероятности
1	2	3
Вероятности разрушения танка при аварии танкера		
4	Нарушение прочности хранилища (танка) при аварии	0,25
9	Нарушение герметичности хранилища (танка) при аварии	0,25

Вероятности присутствия опасных факторов (относительно общего объема перевозок опасных грузов)		
5	Опасное вещество находится под давлением	0,15
6	Вещество является токсичным	0,10
Вероятности появления факторов, вызывающих горение при аварии		
11	Искрение	0,10
12	Открытый огонь	0,05
13	Наличие поверхностей, нагретых до температуры самовоспламенения опасного вещества	0,25
Вероятности проявления сценария аварии		
7	Нагрев хранилища (танка) с ЛВЖ под давлением	0,60
10	Пролив опасного вещества	0,90
15	Взрыв паров опасного вещества	0,80
16	Пожар пролития	0,80

Модель формирования опасных факторов (рис. 2.7.1) является упрощенной, а выбранные по таблице 2.7.1 значения вероятностей – усредненными.

Результаты моделирования приведены в таблице 2.7.2. Эти результаты следует рассматривать как качественную оценку опасности возникновения аварий. В столбцах 2 и 3 таблицы указаны значения вероятностей и интенсивностей возникновения различных видов аварий в течение одного года для одного хранилища (танка).

В столбце 4 таблицы 2.7.2 в порядке убывания значимости указаны номера элементов исследуемой модели, соответствующие рисунку 2.7.1 и таблице 2.7.1. В скобках указаны элементы, имею-