

Министерство сельского хозяйства РФ
Брянский государственный аграрный университет
Кафедра безопасности жизнедеятельности
и инженерной экологии

Панова Т.В., Агеенко Л.В.

Управление рисками, системный анализ и моделирование процессов в техносфере

Методические указания по выполнению курсовой работы
для магистров направления 20.04.01
Техносферная безопасность

Брянская область
2015

УДК 614.8(07)

ББК 68.9

П 16

Панова, Т.В. Управление рисками, системный анализ и моделирование процессов в техносфере: Методические указания по выполнению курсовой работы для магистров направления 20.04.01 Техносферная безопасность / Т.В. Панова, Л.В. Агеенко. – Брянск: Издательство Брянский ГАУ, 2015. – 34 с.

Методические указания предназначены магистрантам для выполнения курсовой работы направления 20.04.01 Техносферная безопасность магистерской программы Безопасность жизнедеятельности в чрезвычайных ситуациях, а также могут быть использованы специалистами, занимающимися обеспечением безопасности работающих на производстве и в других сферах деятельности.

Рецензент: Научный сотрудник лаборатории по оценке условий труда и экологической безопасности И.М. Кувшинова.

Рекомендовано к изданию решением методической комиссии инженерно-технологического факультета Брянского ГАУ, протокол № 3 от «22» октября 2015г.

© Брянская ГСХА, 2015

© Панова Т.В., 2015

© Агеенко Л.В., 2015

Содержание

	стр.
1 Цель и задачи курсовой работы	4
2 Структура и правила оформления курсовой работы	5
3 Методические указания по выполнению курсовой работы	
3.1 Управление рисками в техносфере	6
3.1.1 Порядок проведения анализа риска	6
3.1.2 Методы проведения анализа риска	12
3.1.3 Примеры применения методов анализа опасности и оценки риска	19
3.2 Системный анализ процессов в техносфере	21
3.3 Моделирование процессов в техносфере	27
Глоссарий	30
Литература	33

1 Цель и задачи курсовой работы

Переход к новым хозяйственным механизмам за счет интенсификации всех технологических и производственных процессов не возможен без более полного использования достижений научно-технического прогресса, эффективного расходования ресурсов, снижения ущерба от аварийности и травматизма. Решение этой задачи требует также научно обоснованных подходов к системному исследованию и совершенствованию всех отраслей промышленности, сельского хозяйства, транспорта и энергетики, так как повышение их энерговооруженности, применение новых технологий и материалов чревато побочными издержками серьезным моральным и материальным ущербом.

Актуальность системного исследования безопасности, снижения риска чрезвычайных ситуаций и повышения защищенности критически важных объектов техносферы особенно выросла на нынешнем этапе развития производительных сил, когда из-за трудно предсказуемых последствий сопутствующих вредных эффектов поставлено под сомнение само существование человека. Вот почему рассматриваемые вопросы становятся все более важными, в том числе и по причине имевших место техногенных катастроф, которые являются следствием обострения противоречий между новыми средствами производства и традиционными способами их использования, а так же свидетельством необходимости пересмотра существующих представлений и основанных на них методов обеспечения безопасности ныне эксплуатируемых и создаваемых объектов производства и транспорта.

В результате выполнения курсовой работы по дисциплине «Управление рисками, системный анализ и моделирование процессов в техносфере» предусмотрено формирование следующих компетенций:

ОК-12 владением навыками публичных выступлений, дискуссий, проведения занятий.

ПК-3 способностью оптимизировать методы и способы обеспечения безопасности человека от воздействия различных негативных факторов в техносфере.

ПК-8 способностью ориентироваться в полном спектре научных проблем профессиональной области.

ПК-9 способностью создавать модели новых систем защиты человека и среды обитания.

ПК-11 способностью идентифицировать процессы и разрабатывать их рабочие модели, интерпретировать математические модели в нематематическое содержание, определять допущения и границы применимости модели, математически описывать экспериментальные

данные и определять их физическую сущность, делать качественные выводы из количественных данных, осуществлять машинное моделирование изучаемых процессов.

ПК-16 способностью участвовать в разработке нормативно-правовых актов по вопросам техносферной безопасности.

ОПК-5 способностью моделировать, упрощать, адекватно представлять, сравнивать, использовать известные решения в новом приложении, качественно оценивать количественные результаты, их математически формулировать.

2 Структура и правила оформления курсовой работы

Курсовая работа состоит из введения, трех разделов, выводов, списка используемой литературы.

Первый раздел: Управление рисками в техносфере

Второй раздел: Системный анализ процессов в техносфере

Третий раздел: Моделирование процессов в техносфере

Введение пишется на 1 - 1,5 страницах.

Курсовую работу завершают краткие, четкие выводы.

Изложение текста и оформление работ следует выполнять в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105-95 Общие требования к текстовым документам.

На бумаги формата А4, с полями: слева - 30 мм, справа - 10 мм, сверху - 20 мм, внизу - 20 мм, шрифт Times New Roman 14пт. Страницы нумеруются в нижнем левом углу. Работа выполняется грамотно, аккуратно, с изложением всех разделов,

На первой странице каждого задания записывается полное его условие.

Далее оформляется пояснительная записка, содержащая необходимую информацию.

Каждое последующее задание должно начинаться с новой страницы.

Оформление заданий должно сопровождаться краткими, но исчерпывающими пояснениями.

В конце курсовой работы необходимо указать литературу использованную при ее выполнении и дату сдачи работы.

Если курсовая работа не допущена к зачету, то все необходимые дополнения и исправления сдают вместе с незачтенной работой.

Исправления в тексте незачтенной работы не допускаются.

Допущенная к зачету курсовая работа с внесенными уточнениями предъявляется преподавателю на зачете. Магистрант должен быть готов дать во время зачета пояснения по выполнению всех заданий.

3 Методические указания по выполнению курсовой работы

3.1 Управление рисками в техносфере

Управление риском это:

1) действия, осуществляемые для выполнения решений в рамках менеджмента риска.

Управление риском может включать в себя мониторинг, переоценивание и действия, направленные на обеспечение соответствия принятым решениям.

2) процесс принятия решений и осуществления защитных мер по уменьшению рисков до установленных уровней или поддержания рисков на установленных уровнях.

3) процесс определения контрмер в соответствии с оценкой рисков.

Анализ риска аварий на опасных производственных объектах (далее – анализ риска) является составной частью управления промышленной безопасностью. Анализ риска заключается в систематическом использовании всей доступной информации для идентификации опасностей и оценки риска возможных нежелательных событий.

Результаты анализа риска используются при декларировании промышленной безопасности опасных производственных объектов, экспертизе промышленной безопасности, обосновании технических решений по обеспечению безопасности, страховании, экономическом анализе безопасности по критериям «стоимость – безопасность – выгода», оценке воздействия хозяйственной деятельности на окружающую природную среду и при других процедурах, связанных с анализом безопасности.

Основные задачи анализа риска аварий на опасных производственных объектах заключаются в представлении лицам, принимающим решения:

- объективной информации о состоянии промышленной безопасности объекта,
- сведений о наиболее опасных, «слабых» местах с точки зрения безопасности,
- обоснованных рекомендаций по уменьшению риска.

3.1.1 Порядок проведения анализа риска

Процесс проведения анализа риска включает следующие основные этапы:

- планирование и организация работ;

- идентификация опасностей;
- оценка риска;
- разработка рекомендаций по уменьшению риска.

На этапе *планирования работ* следует:

- определить анализируемый опасный производственный объект и дать его общее описание;
- описать причины и проблемы, которые вызвали необходимость проведения анализа риска;
- подобрать группу исполнителей для проведения анализа риска;
- определить и описать источники информации об опасном производственном объекте;
- указать ограничения исходных данных, финансовых ресурсов и другие обстоятельства, определяющие глубину, полноту и детальность проводимого анализа риска;
- четко определить цели и задачи проводимого анализа риска;
- обосновать используемые методы анализа риска;
- определить критерии приемлемого риска.

Для обеспечения качества анализа риска следует использовать знание закономерностей возникновения и развития аварий на опасных производственных объектах. Если существуют результаты анализа риска для подобного опасного производственного объекта или аналогичных технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, то их можно применять в качестве исходной информации. Однако при этом следует показать, что объекты и процессы подобны, а имеющиеся отличия не будут вносить значительных изменений в результаты анализа.

Цели и задачи анализа риска могут различаться и конкретизироваться на разных этапах жизненного цикла опасного производственного цикла.

На этапе размещения (обоснования инвестиций или проведении предпроектных работ) или проектирования опасного производственного объекта целью анализа риска, как правило, является:

- выявление опасностей и априорная количественная оценка риска с учетом воздействия поражающих факторов аварии на персонал, население, имущество и окружающую природную среду;
- обеспечение учета результатов при анализе приемлемости предложенных решений и выборе оптимальных вариантов размещения опасного производственного объекта, применяемых технических устройств, зданий и сооружений опасного производственного объекта с учетом особенностей окружающей местности, расположения иных объектов и экономической эффективности;

- обеспечение информацией для разработки инструкций, технологического регламента и планов ликвидации (локализации) аварийных ситуаций на опасном производственном объекте;

- оценка альтернативных предложений по размещению опасного производственного объекта или техническим решениям.

На этапе ввода в эксплуатацию (вывода из эксплуатации) опасного производственного объекта целью анализа риска может быть:

- выявление опасностей и оценка последствий аварий, уточнение оценок риска, полученных на предыдущих этапах функционирования опасного производственного объекта;

- проверка соответствия условий эксплуатации требованиям промышленной безопасности,

- разработка и уточнение инструкций по вводу в эксплуатацию (выводу из эксплуатации).

На этапе эксплуатации или реконструкции опасного производственного объекта целью анализа риска может быть:

- проверка соответствия условий эксплуатации требованиям промышленной безопасности;

- уточнение информации об основных опасностях и рисках (в том числе при декларировании промышленной безопасности);

- разработка рекомендаций по организации деятельности надзорных органов;

- совершенствование инструкций по эксплуатации и техническому обслуживанию, планов ликвидации (локализации) аварийных ситуаций на опасном производственном объекте;

- оценка эффекта изменения в организационных структурах, приемах практической работы и технического обслуживания в отношении совершенствования системы управления промышленной безопасностью.

При выборе методов анализа риска следует учитывать цели, задачи анализа, сложность рассматриваемых объектов, наличие необходимых данных и квалификацию привлекаемых для проведения анализа специалистов. Приоритетными в использовании являются методические материалы, согласованные или утвержденные Госгортехнадзором России или иными федеральными органами исполнительной власти.

На этапе планирования выявляются управленческие решения, которые должны быть приняты, а также требующиеся для этого исходные и выходные данные.

Основным требованием к выбору или определению критерия приемлемого риска является его обоснованность и определенность. При этом критерии приемлемого риска могут задаваться нормативной

документацией, определяться на этапе планирования анализа риска и/или в процессе получения результатов анализа. Критерии приемлемого риска следует определять исходя из совокупности условий, включающих определенные требования безопасности и количественные показатели опасности. Условие приемлемости риска может выражаться в виде условий выполнения определенных требований безопасности, в том числе количественных критериев.

Основой для определения критериев приемлемого риска являются:

- нормы и правила промышленной безопасности или иные документы по безопасности в анализируемой области;
- сведения о произошедших авариях, инцидентах и их последствиях;
- опыт практической деятельности;
- социально-экономическая выгода от эксплуатации опасного производственного объекта;

Основные задачи этапа *идентификации опасностей* – выявление и четкое описание всех источников опасностей и путей (сценариев) их реализации. Это ответственный этап анализа, так как не выявленные на этом этапе опасности не подвергаются дальнейшему рассмотрению и исчезают из поля зрения.

При идентификации следует определить, какие элементы, технические устройства, технологические блоки или процессы в технологической системе требуют более серьезного анализа и какие представляют меньший интерес с точки зрения безопасности.

Для идентификации опасностей рекомендуется применять методы, изложенные в п. Методы проведения анализа риска.3.

Результатом идентификации опасностей являются:

- перечень нежелательных событий,
- описание источников опасности, факторов риска, условий возникновения и развития нежелательных событий (например, сценариев возможных аварий);
- предварительные оценки опасности и риска¹.

Идентификация опасностей завершается также выбором дальнейшего направления деятельности. В качестве вариантов дальнейших действий может быть:

- решение прекратить дальнейший анализ ввиду незначительности опасностей или достаточности полученных предварительных оценок²;
- решение о проведении более детального анализа опасностей и оценки риска;

- выработка предварительных рекомендаций по уменьшению опасностей.

Например, при идентификации опасности, при необходимости, могут быть представлены показатели опасности применяемых веществ, оценки последствий для отдельных сценариев аварий и т.п.

В этом случае под идентификацией опасностей подразумевается анализ или оценка опасностей

Основные задачи этапа *оценки риска* связаны с:

1) определением частот возникновения иницирующих и всех нежелательных событий;

2) оценкой последствий возникновения нежелательных событий;

3) обобщением оценок риска.

Для определения частоты нежелательных событий рекомендуется использовать:

- статистические данные по аварийности и надежности технологической системы, соответствующие специфике опасного производственного объекта или виду деятельности;

- логические методы анализа «деревьев событий», «деревьев отказов», имитационные модели возникновения аварий в человеко-машинной системе;

- экспертные оценки путем учета мнения специалистов в данной области.

Оценка последствий включает анализ возможных воздействий на людей, имущество и/или окружающую природную среду. Для оценки последствий необходимо оценить физические эффекты нежелательных событий (отказы, разрушение технических устройств, зданий, сооружений, пожары, взрывы, выбросы токсичных веществ и т.д.), уточнить объекты, которые могут быть подвергнуты опасности. При анализе последствий аварий необходимо использовать модели аварийных процессов и критерии поражения, разрушения изучаемых объектов воздействия, учитывать ограничения применяемых моделей. Следует также учитывать и, по возможности, выявить связь масштабов последствий с частотой их возникновения.

Обобщенная оценка риска (или степень риска) аварий должна отражать состояние промышленной безопасности с учетом показателей риска от всех нежелательных событий, которые могут произойти на опасном производственном объекте, и основываться на результатах:

- интегрирования показателей рисков всех нежелательных событий (сценариев аварий) с учетом их взаимного влияния;

- анализа неопределенности и точности полученных результатов;

- анализа соответствия условий эксплуатации требованиям промышленной безопасности и критериям приемлемого риска.

При обобщении оценок риска следует, по возможности, проанализировать неопределенность и точность полученных результатов. Имеется много неопределенностей, связанных с оценкой риска. Как правило, основными источниками неопределенностей являются неполнота информации по надежности оборудования и человеческим ошибкам, принимаемые предположения и допущения используемых моделей аварийного процесса. Чтобы правильно интерпретировать результаты оценки риска, необходимо понимать характер неопределенностей и их причины. Источники неопределенности следует идентифицировать (например, «человеческий фактор»), оценить и представить в результатах.

Разработка рекомендаций по уменьшению риска является заключительным этапом анализа риска. В рекомендациях представляются обоснованные меры по уменьшению риска, основанные на результатах оценок риска.

Меры по уменьшению риска могут иметь технический и (или) организационный характер. В выборе типа меры решающее значение имеет общая оценка действенности и надежности мер, оказывающих влияние на риск, а так же размер затрат на их реализацию.

На стадии эксплуатации опасного производственного объекта организационные меры могут компенсировать ограниченные возможности для принятия крупных технических мер по уменьшению риска.

При разработке мер по уменьшению риска, необходимо учитывать, что вследствие возможной ограниченности ресурсов, в первую очередь должны разрабатываться простейшие и связанные с наименьшими затратами рекомендации, а также меры на перспективу.

В большинстве случаев первоочередными мерами обеспечения безопасности, как правило, являются меры предупреждения аварии. Выбор планируемых для внедрения мер безопасности имеет следующие приоритеты:

1) меры уменьшения вероятности возникновения аварийной ситуации, включающие:

- меры уменьшения вероятности возникновения инцидента,
- меры уменьшения вероятности перерастания инцидента в аварийную ситуацию;

2) меры уменьшения тяжести последствий аварии, которые, в свою очередь, имеют следующие приоритеты:

- меры, предусматриваемые при проектировании опасного объекта (например, выбор несущих конструкций, запорной арматуры);

- меры, относящиеся к системам противоаварийной защиты и контроля (например, применение газоанализаторов),

- меры, касающиеся готовности эксплуатирующей организации к локализации и ликвидации последствий аварий.

При необходимости обоснования и оценки эффективности предлагаемых мер уменьшения риска рекомендуется придерживаться двух альтернативных целей их оптимизации:

1) при заданных средствах обеспечить максимальное снижение риска эксплуатации опасного производственного объекта;

2) обеспечить снижение риска до приемлемого уровня при минимальных затратах.

Для определения приоритетности выполнения мер по уменьшению риска в условиях заданных средств или ограниченности ресурсов следует:

- определить совокупность мер, которые могут быть реализованы при заданных объемах финансирования;

- ранжировать эти меры по показателю «эффективность-затраты»;

- обосновать и оценить эффективность предлагаемых мер.

3.1.2 Методы проведения анализа риска

При выборе методов проведения анализа риска необходимо учитывать этапы функционирования объекта (проектирование, эксплуатация и т.д.), цели анализа, критерии приемлемого риска, тип анализируемого опасного производственного объекта и характер опасности, наличие ресурсов для проведения анализа, опыт и квалификацию исполнителей, наличие необходимой информации и другие факторы.

Так, на стадии идентификации опасностей и предварительных оценок риска¹ рекомендуется применять методы качественные анализа и оценки риска, опирающиеся на продуманную процедуру, специальные вспомогательные средства (анкеты, бланки, опросные листы, инструкции) и практический опыт исполнителей.

Практика показывает, что использование сложных количественных методов анализа риска зачастую дает значение показателей риска, точность которых для сложных технических систем невелика. В связи с этим проведение полной количественной оценки риска более эффективно для сравнения источников опасностей или различных вариантов мер безопасности (например, при размещении объекта), чем для составления заключения о степени безопасности объекта. Однако, количественные методы оценки риска всегда очень полезны, а в неко-

торых ситуациях и единственно допустимы, в частности, для сравнения опасностей различной природы, оценки последствий крупных аварий или для иллюстрации результатов.

Обеспечение необходимой информацией является важным условием проведения оценки риска. Вследствие недостатка статистической данных на практике рекомендуется использовать экспертные оценки и методы ранжирования риска, основанные на упрощенных методах количественного анализа риска. В этих подходах рассматриваемые события или элементы обычно разбиваются по величине вероятности, тяжести последствий и риска на несколько групп (или категорий, рангов), например, с высоким, промежуточным, низким или незначительным уровнем риска. При таком подходе высокий уровень риска может считаться (в зависимости от специфики объекта), неприемлемым (или требующим особого рассмотрения), промежуточный уровень риска требует выполнения программы работ по уменьшению уровня риска, низкий уровень считается приемлемым, а незначительный вообще может не рассматриваться.

При выборе и применении методов анализа риска рекомендуется придерживаться следующих требований:

- метод должен быть научно обоснован и соответствовать рассматриваемым опасностям;
- метод должен давать результаты в виде, позволяющем лучше понять формы реализации опасностей и наметить пути снижения риска;
- метод должен быть повторяемым и проверяемым.

На стадии идентификации опасностей рекомендуется использовать один или несколько из перечисленных ниже методов анализа риска:

- «Что будет, если...?»;
- проверочный лист;
- анализ опасности и работоспособности;
- анализ вида и последствий отказов;
- анализ «деревя отказов»;
- анализ «деревя событий»;
- соответствующие эквивалентные методы.

Ниже представлена краткая характеристика основных методов, рекомендуемых для проведения анализа риска.

Методы «Проверочного листа» и «Что будет, если...?» или их комбинация относятся к группе методов качественных оценок опасности, основанных на изучении соответствия условий эксплуатации объекта или проекта требованиям промышленной безопасности.

Результатом проверочного листа является перечень вопросов и ответов о соответствии опасного производственного объекта требова-

ниям промышленной безопасности и указания по их обеспечению. Метод проверочного листа отличается от «Что будет, если...?» более обширным представлением исходной информации и представлением результатов о последствиях нарушений безопасности.

Эти методы наиболее просты (особенно при обеспечении их вспомогательными формами, унифицированными бланками, облегчающими на практике проведение анализа и представление результатов), нетрудоемки (результаты могут быть получены одним специалистом в течение одного дня) и наиболее эффективны при исследовании безопасности объектов с известной технологией.

«Анализ вида и последствий отказов» (АВПО) применяется для качественного анализа опасности рассматриваемой технической системы. Существенной чертой этого метода является рассмотрение каждого аппарата (установки, блока, изделия) или составной части системы (элемента) на предмет того, как он стал неисправным (вид и причина отказа) и какое было бы воздействие отказа на техническую систему.

Анализ вида и последствий отказа можно расширить до количественного анализа вида, последствий и критичности отказа (АВПКО). В этом случае каждый вид отказа ранжируется с учетом двух составляющих критичности – вероятности (или частоты) и тяжести последствий отказа. Определение параметров критичности необходимо для выработки рекомендаций и приоритетности мер безопасности.

Результаты анализа представляются в виде таблиц с перечнем оборудования, видом и причин возможных отказов, частотой, последствиями, критичностью, средствами обнаружения неисправности (сигнализаторы, приборы контроля и т.п.) и рекомендациями по уменьшению опасности.

Систему классификации отказов по критериям вероятности-тяжести последствий следует конкретизировать для каждого объекта или технического устройства с учетом его специфики.

Ниже (табл. 3.1.1) в качестве примера приведены показатели (индексы) уровня и критерии критичности по вероятности и тяжести последствий отказа. Для анализа выделены четыре группы, которым может быть нанесен ущерб от отказа: персонал, население, имущество (оборудование, сооружения, здания, продукция и т.п.), окружающая среда.

В таблице 3.1.1 применены следующие варианты критериев:
- критерии отказов по тяжести последствий:

- катастрофический отказ – приводит к смерти людей, существенному ущербу имуществу, наносит невосполнимый ущерб окружающей среде,

- критический/некритический отказ – угрожает/не угрожает жизни людей, приводит (не приводит) к существенному ущербу имуществу, окружающей среде,

- отказ с пренебрежимо малыми последствиями – отказ, не относящийся по своим последствиям ни к одной из первых трех категорий.

Таблица 3.1.1 - Матрица «вероятность-тяжесть последствий»

Частота возникновения отказа 1/год		Тяжесть последствий отказов			
		катастрофический отказ	критический отказ	некритический отказ	отказ с пренебрежимо малыми последствиями
Частый отказ	>1	A	A	A	C
Вероятный отказ	1 - 10-2	A	A	B	C
Возможный отказ	10-2 - 10-4	A	B	B	C
Редкий отказ	10-4 - 10-6	A	B	C	D
Практически невероятный отказ	<10-6	B	C	C	D

- Категории (критичность) отказов:

- «А» - обязателен количественный анализ риска, или требуются особые меры обеспечения безопасности;

- «В» – желателен количественный анализ риска, или требуется принятие определенных мер безопасности;

- «С» – рекомендуется проведение качественного анализа опасностей или принятие некоторых мер безопасности;

- «Д» – анализ и принятие специальных (дополнительных) мер безопасности не требуется.

Методы АВПО, АВПКО применяются, как правило, для анализа проектов сложных технических систем или технических решений. Выполняется группой специалистов различного профиля (например, специалист по технологии, химическим процессам, инженер-механик) из 3 - 7 человек в течение нескольких дней, недель.

В методе «Анализ опасности и работоспособности» (АОР) исследуется влияние отклонений технологических параметров (температуры, давления и пр.) от регламентных режимов с точки зрения возможности возникновения опасности. АОР по сложности и качеству результатов соответствует уровню АВПО, АВПКО.

В процессе анализа для каждой составляющей опасного производственного объекта или технологического блока определяются возможные отклонения, причины и указания по их недопущению. При характеристике отклонения используются ключевые слова «нет», «больше», «меньше», «также как», «другой», «иначе чем», «обратный» и т.п. Применение ключевых слов помогает исполнителям выявить все возможные отклонения. Конкретное сочетание этих слов с технологическими параметрами определяется спецификой производства.

Примерное содержание ключевых слов следующее:

«НЕТ» – отсутствие прямой подачи вещества, когда она должна быть;

«БОЛЬШЕ (МЕНЬШЕ)» – увеличение (уменьшение) значений режимных переменных по сравнению с заданными параметрами (температуры, давления, расхода);

«ТАКЖЕ КАК» – появление дополнительных компонентов (воздух, вода, примеси);

«ДРУГОЙ» – состояние, отличающиеся от обычной работы (пуск, остановка, повышение производительности и т.д.);

«ИНАЧЕ ЧЕМ» – полное изменение процесса, непредвиденное событие, разрушение, разгерметизация оборудования;

«ОБРАТНЫЙ» – логическая противоположность замыслу, появление обратного потока вещества.

Результаты анализа представляются на специальных технологических листах (таблицах). Степень опасности отклонений может быть определена количественно путем оценки вероятности и тяжести последствий рассматриваемой ситуации по критериям критичности аналогично методу АВПКО (Таблица 1).

Отметим, что метод АОР, также как АВПКО, кроме идентификации опасностей и их ранжирования позволяет выявить неясности и неточности в инструкциях по безопасности и способствует их дальнейшему совершенствованию. Недостатки методов связаны с затрудненностью их применения для анализа комбинаций событий, приводящих к авариям.

Практика показывает, что крупные аварии, как правило, характеризуются комбинацией случайных событий, возникающих с различной частотой на разных стадиях возникновения и развития аварии (отказы обо-

рудования, ошибки человека, нерасчетные внешние воздействия, разрушение, выброс, пролив вещества, рассеяние веществ, воспламенение, взрыв, интоксикация и т.д.). Для выявления причинно-следственных связей между этими событиями используют логико-графические методы анализа «деревьев отказов» и «деревьев событий».

При анализе «деревьев отказов» (АДО) выявляются комбинации отказов (неполадок) оборудования, инцидентов, ошибок персонала и нерасчетных внешних (техногенных, природных) воздействий, приводящих к головному событию (аварийной ситуации). Метод используется для анализа возможных причин возникновения аварийной ситуации и расчета ее частоты (на основе знания частот исходных событий). При анализе дерева отказа (аварии) рекомендуется определять минимальные сочетания событий, определяющие возникновение или невозможность возникновения аварии (минимальное пропускное и отсечное сочетания, соответственно, см. пример 2 приложения 3).

Анализ «дерева событий» (АДС) – алгоритм построения последовательности событий, исходящих из основного события (аварийной ситуации). Используется для анализа развития аварийной ситуации. Частота каждого сценария развития аварийной ситуации рассчитывается путем умножения частоты основного события на условную вероятность конечного события (например, аварии с разгерметизацией оборудования с горючим веществом в зависимости от условий могут развиваться как с воспламенением, так и без воспламенения вещества).

Методы *количественного анализа риска*, как правило, характеризуются расчетом нескольких показателей риска, упомянутых в приложении 1, и могут включать один или несколько вышеупомянутых методов (или использовать их результаты). Проведение количественного анализа требует высокой квалификации исполнителей, большого объема информации по аварийности, надежности оборудования, проведения экспертных работ, учета особенностей окружающей местности, метеоусловий, времени пребывания людей в опасных зонах и других факторов.

Количественный анализ риска позволяет оценивать и сравнивать различные опасности по единым показателям и наиболее эффективен:

- на стадии проектирования и размещения опасного производственного объекта;
- при обосновании и оптимизации мер безопасности;
- при оценке опасности крупных аварий на опасных производственных объектах, имеющих однотипные технические устройства (например, магистральные трубопроводы);

- при комплексной оценке опасностей аварий для людей, имущества и окружающей природной среды.

Рекомендации по выбору методов анализа риска для различных видов деятельности и этапов функционирования опасного производственного объекта представлены ниже (таблица 3.1.2).

В таблице 1 приняты следующие обозначения:

«0» – наименее подходящий метод анализа;

«+» – рекомендуемый метод;

«++» – наиболее подходящий метод.

Методы могут применяться изолированно или в дополнение друг к другу, причем методы качественного анализа могут включать количественные критерии риска (в основном, по экспертным оценкам с использованием, например, матрицы «вероятность - тяжесть последствий» ранжирования опасности). По возможности полный количественный анализ риска должен использовать результаты качественного анализа опасностей.

Таблица 3.1.2 - Рекомендации по выбору методов анализа риска

Метод	Вид деятельности				
	размещение (предпроектные работы)	проектирование	ввод/вывод из эксплуатации	эксплуатация	реконструкция
Анализ «Что будет, если...?»	0	+	++	++	+
Метод проверочного листа	0	+	+	++	+
Анализ опасности и работоспособности	0	++	+	+	++
Анализ видов и последствий отказов	0	++	+	+	++
Анализ деревьев отказов и событий	0	++	+	+	++
Количественный анализ риска	++	++	0	+	++

3.1.3 Примеры применения методов анализа опасности и оценки риска

Пример 3.1.1. Распределение потенциального территориального риска.

Распределение потенциального территориального риска, показывающего максимальное значение частоты поражения человека от возможных аварий для каждой точки площадки объекта и прилегающей территории, показано на рис. 3. Цифрами у изолиний указана частота смертельного поражения человека за один год (при условии его постоянного местонахождения в данной точке).

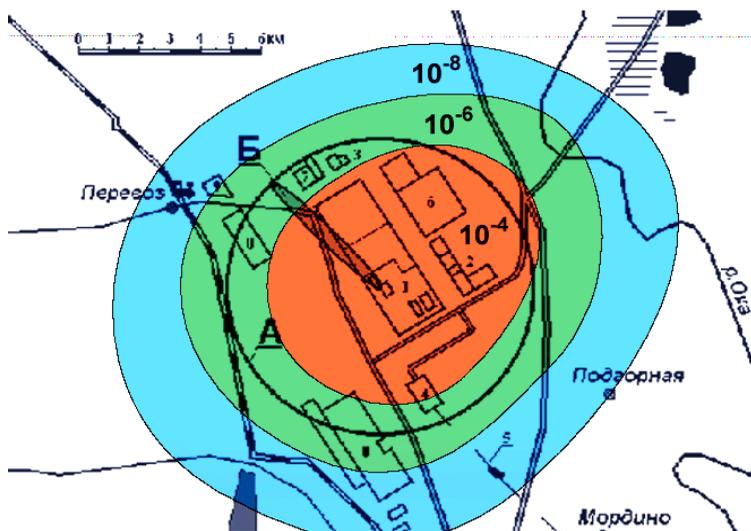


Рисунок 3.1.1 - Распределение потенциального риска по территории вблизи объекта, на котором возможны аварии с крупным выбросом токсичных веществ.

Цифрами у изолиний показано значение частоты гибели человека (1/год), А – граница зон поражения людей, рассчитанных для сценариев аварии с одинаковой массой выброса по всем направлениям ветра, Б – зона поражения для отдельного сценария при заданном направлении ветра.

Пример 3.1.2. Количественные показатели риска аварий на магистральных нефтепроводах.

В соответствии с «Методическим руководством по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах» основными показателями риска являются интегральные (по всей длине трассы нефтепровода) и удельные (на единицу длины нефтепровода) значения:

- частоты утечки нефти в год;
- ожидаемых среднегодовых площадей разливов и потерь нефти от аварий;
- ожидаемого ущерба (как суммы ежегодных компенсационных выплат за загрязнение окружающей среды и стоимости потерянной нефти).

На рис.5 представлено распределение ожидаемого ущерба вдоль трассы нефтепровода.

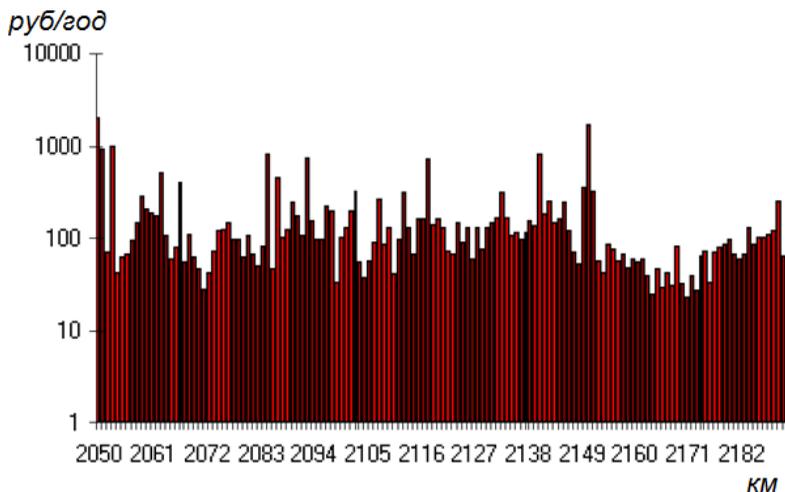


Рисунок 3.1.2 - Распределение ожидаемого ущерба $Rd(L)$ по трассе магистрального нефтепровода (км)

Оценки риска могут быть использованы при обосновании страховых тарифов при страховании ответственности за ущерб окружающей среде от аварий и выработке мер безопасности. В частности, линейные участки нефтепроводов с наиболее высокими показателями риска должны быть приоритетными при проведении внутритрубной диагностики или ремонта трубопроводов.

3.2 Системный анализ процессов в техносфере

Общие принципы системного анализа и моделирования сложных процессов позволяют перейти к изучению тех их особенностей, которые свойственны появлению происшествий в техносфере. Именно этому и посвящен материал второй части книги, где соответствующие опасные процессы моделируются с помощью диаграмм причинно-следственных связей типа «дерево», «граф» и «сеть».

Системный анализ—это методология решения крупных проблем, основанная на концепции систем. Системный анализ может также рассматриваться как методология построения организаций, что реализует методологию решения проблем.

В центре методологии системного анализа находится операция количественного сравнения альтернатив, которая выполняется с целью выбора альтернативы, подлежащей реализации. Если требование равнокачественности альтернатив выполнено, могут быть получены количественные оценки. Но для того, чтобы количественные оценки позволяли вести сравнение альтернатив, они должны отражать участвующие в сравнении свойства альтернатив (выходной результат, эффективность, стоимость и другие). Достичь этого можно, если учтены все элементы альтернативы и даны правильные оценки каждому элементу. Так возникает идея выделения «всех элементов, связанных с данной альтернативой», т. е. идея, которая на обыденном языке выражается как «всесторонний учет всех обстоятельств». Выделяемая этим определением целостность и называется в системном анализе полной системой. Система, таким образом, есть то, что решает проблему.

Но как выделить эту целостность, «систему», как установить, входит данный элемент в данную альтернативу или нет? Единственным критерием может быть участие данного элемента в процессе, приводящем к появлению выходного результата данной альтернативы. Понятие процесса оказывается центральным понятием системного анализа.

Система определяется заданием системных объектов, свойств и связей. Системные объекты — это вход, процесс, выход, обратная связь и ограничение.

Современная производственная деятельность проявляется, как уже ранее указывалось, в использовании человеком машины и существовании связанной с этим опасности (возможности причинения ущерба), в том числе и для его здоровья. Поведение людей и техники при работе во многом зависит от выбранной технологии и условий рабочей среды. Последняя, в свою очередь, может изменяться в ре-

зультате воздействия на нее со стороны двух первых компонентов исследуемой системы, а степень такого изменения определяется принятой технологией и установленной организацией работ.

Вот почему отклонения в работе технологического оборудования, вызванные конструктивными (производственными) дефектами или вредными воздействиями на него извне, необходимо учитывать и компенсировать эксплуатирующему его персоналу. Для облегчения этого используемое оборудование должно быть надежным и эргономичным, т. е. приспособленным к человеку и рабочей среде.

Однако довольно часто приходится приспосабливать к технике сам персонал - за счет соответствующего отбора, обучения и воспитания. Если же взаимное приспособление людей и используемого ими оборудования не гарантирует предупреждения происшествий, то выход ищут в дополнительных организационно-технических мероприятиях по обеспечению безопасности их совместного функционирования.

Пример 3.2.1. Применение метода качественного анализа опасности

В таблице представлены фрагмент результатов анализа опасности и работоспособности цеха холодильно-компрессорных установок. В процессе анализа для каждой установки, производственной линии или блока определяются возможные отклонения, причины и рекомендации по обеспечению безопасности. При характеристике каждого возможного отклонения используются ключевые слова «нет», «больше», «меньше», «так же как», «другой», «иначе чем», «обратный» и т.п. В таб. представлены также экспертные балльные оценки вероятности возникновения рассматриваемого отклонения В, тяжести последствий Т и показателя критичности $K=V+T$. Показатели В и Т определялись по 4-х балльной шкале (балл равный 4 соответствует максимальной опасности).

Отклонения, имеющие повышенные значения критичности, далее рассматривались более детально, в том числе при построении сценариев аварийных ситуаций и количественной оценки риска.

Таблица 3.2.1 - Перечень отклонений при применении метода изучения опасности и работоспособности компрессорного узла цеха холодоильно-компрессорных установок (фрагмент результатов)

Ключевое слово	Отклонение	Причины	Последствия	В	Т	К	Рекомендации
МЕНЬШЕ	Нет потока вещества	1.Разрыв трубопровода	Выброс аммиака	2	4	6	Установить систему аварийной сигнализации
		2.Отказ в системе э/питания	Опасности нет	3	1	4	Повысить надежность системы резервирования
БОЛЬШЕ	Повышение давления нагнетания компрессора	3.Закрыт нагнетательный вентиль	Разрушение компрессора и выброс аммиака	1	2	3	Заменить реле давления, предохранительный и обратные клапана
		3.Отсутствует или недостаточная подача воды на конденсатор	Как в п.3	1	2	3	
		5.Наличие большого количества воздуха в конденсаторе	Образование взрывоопасной смеси	1	3	4	
	Повышение температуры нагнетательного компрессора	6.Нет протока воды через охлаждаемую рубашку компрессора	Разрушение компрессора с выбросом аммиака	1	2	3	Установить реле температуры на компрессорах ВД и НД,
		7.Чрезмерный перегрев паров аммиака на всасывании	Как в п.6	1	2	3	
МЕНЬШЕ	Понижение давления всасывания	8.Повышенная производительность компрессора	Опасности нет	1	1	2	Проверить реле давления

Пример 3.2.2. Анализ «деревьев отказов и событий».

Пример дерева событий для количественного анализа различных сценариев аварий на установке переработки нефти представлен на рис.2. Цифры рядом с наименованием события показывают условную вероятность возникновения этого события. При этом вероятность возникновения инициирующего события (выброс нефти из резервуара) принята равной 1. Значение частоты возникновения отдельного события или сценария пересчитывается путем умножения частоты возникновения инициирующего события на условную вероятность развития аварии по конкретному сценарию.

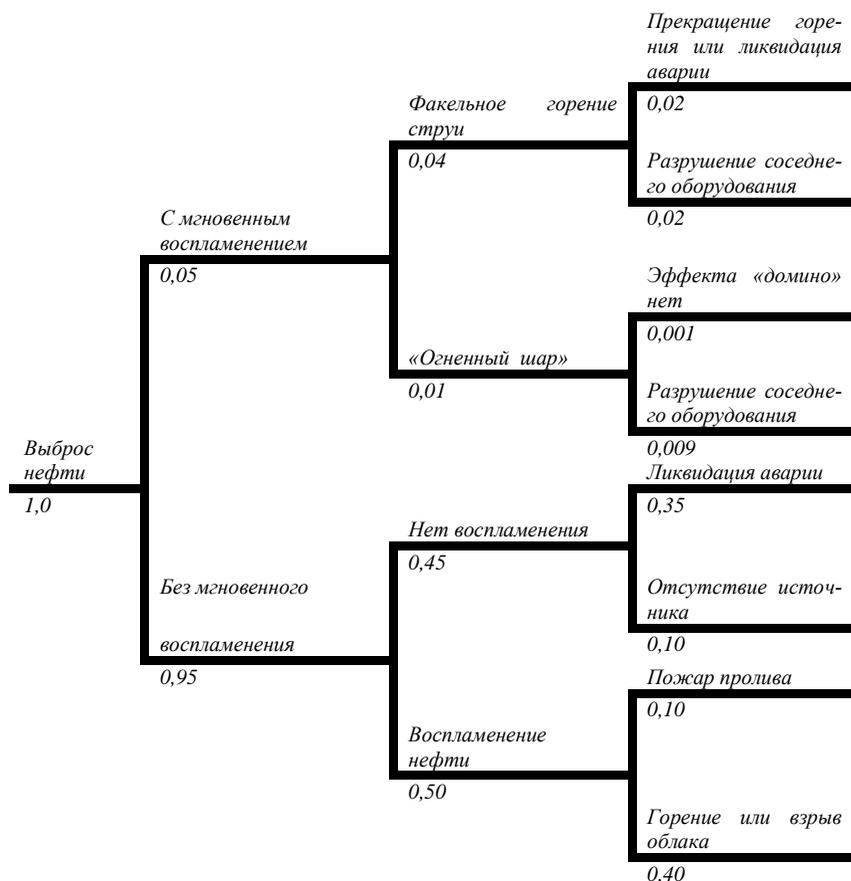


Рисунок 3.2.1 - «Дерево событий» аварии на установке первичной переработки нефти.

Пример дерева отказа, используемого для анализа причин возникновения аварийных ситуаций при автоматизированной заправке емкости приведен на рисунке 3.1.2. Структура дерева отказа включает одно головное событие (авария, инцидент), которое соединяется с набором соответствующих нижестоящих событий (ошибок, отказов, неблагоприятных внешних воздействий), образующих причинные цепи (сценарии аварий). Для связи между событиями в «узлах» деревьев используются знаки «И» и «ИЛИ». Логический знак «И» означает, что вышестоящее событие возникает при одновременном наступлении нижестоящих событий (соответствует перемножению их вероятностей

для оценки вероятности вышестоящего события). Знак «ИЛИ» означает, что вышестоящее событие может произойти вследствие возникновения одного из нижестоящих событий.

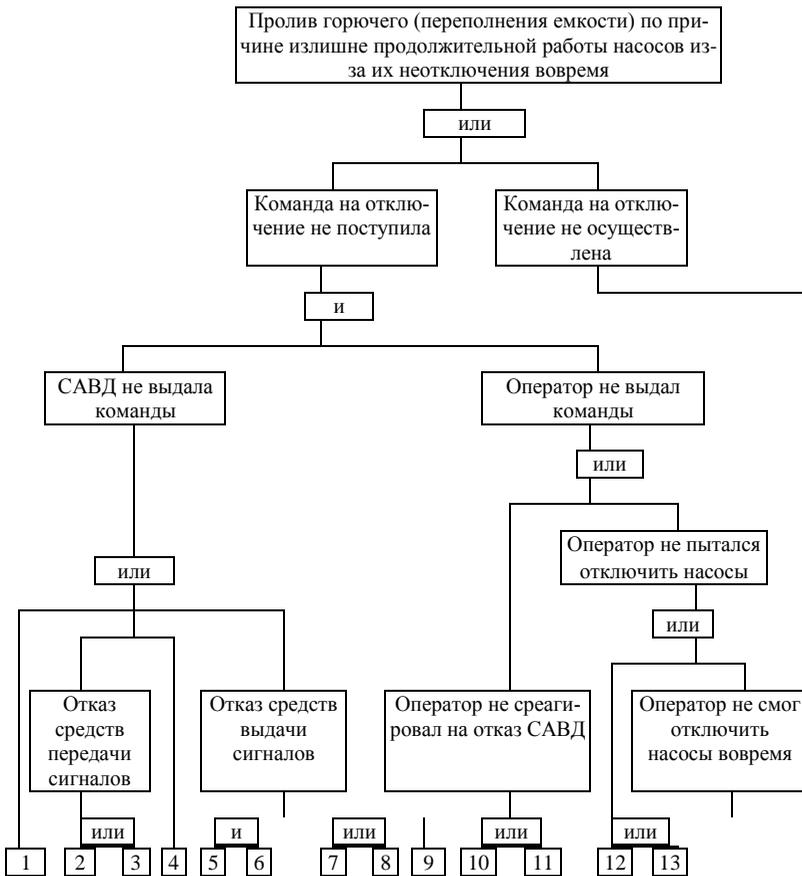


Рисунок 3.2.2 - «Дерево отказа» заправочной операции.

Так, дерево, представленная на рисунке 3.1.2 имеет промежуточные события (прямоугольники), тогда как в нижней части дерева кругами с цифрами показаны постулируемые исходные события-предпосылки, наименования и нумерация которых приведены в табл. 3.

Таблица 3.2.2 - Исходные события дерева отказа (рис. 3.1.2).

	Наименование событий или состояний модели	Вероятность события P_i
1	Система автоматической выдачи дозы (САВД) оказалась отключенной (ошибка контроля исходного положения)	0,0005
2	Обрыв цепей передачи сигнала от датчиков объема дозы	0,00001
3	Ослабление сигнала выдачи дозы помехами (нерасчетное внешнее воздействие)	0,0001
4	Отказ усилителя-преобразователя сигнала выдачи дозы	0,0002
5	Отказ расходомера	0,0003
6	Отказ датчика уровня	0,0002
7	Оператор не заметил световой индикации о неисправности САВД (ошибка оператора)	0,005
8	Оператор не услышал звуковой сигнализации об отказе САВД (ошибка оператора)	0,001
9	Оператор не знал о необходимости отключения насоса по истечении заданного времени	0,001
10	Оператор не заметил индикации хронометра об истечении установленного времени заправки	0,004
11	Отказ хронометра	0,00001
12	Отказ автоматического выключателя электропривода насоса	0,00001
13	Обрыв цепей управления приводом насоса	0,00001

Анализ дерева отказа позволяет выделить ветви прохождения сигнала к головному событию (в нашем случае их три), а так же указать связанные с ними минимальные пропускные сочетания, минимальные отсечные сочетания.

Минимальные пропускные сочетания это набор исходных событий - предпосылок (отмечены цифрами), обязательное (одновременное) возникновение которых достаточно для появления головного события (аварии). Для «дерева», отображенного на рис.3, такими событиями и/или сочетаниями являются: {12}, {13}, {1□7}, {1□8}, {1□9}, {1□10}, {1□11}, {2□7}, {2□8}, {2□9}, {2□10}, {2□11}, {3□7}, {3□8}, {3□9}, {3□10}, {3□11}, {4□7}, {4□8}, {4□9}, {4□10}, {4□11}, {5□6□7}, {5□6□8}, {5□6□9}, {5□6□10}, {5□6□11}.

Используются главным образом для выявления «слабых мест».

Минимальные отсечные сочетания - набор исходных событий, который гарантирует отсутствие головного события при условии не возникновения ни одного из составляющих этот набор событий:

{1□2□3□4□5□12□13},

{1□2□3□4□6□12□13},

{7□8□9□10□11□12□13}.

Используются главным образом для определения наиболее эффективных мер предупреждения аварии.

3.3 Моделирование процессов в техносфере

Содержание данной главы связано с конкретизацией процесса системного исследования опасных процессов путем их формализованного представления вначале в виде семантических диаграмм причинно-следственных связей, а затем и с помощью основанных на них знаковых (математических) моделей и машинных алгоритмов. Цель изучения этого материала связана с подготовкой читателя как к моделированию техносферных происшествий и системному анализу полученных при этом результатов, так и к оценке эффективности системных рекомендаций по повышению безопасности в техносфере.

В сравнении с другими известными методами исследования (статистическим наблюдением и натурным экспериментированием), в системной инженерии безопасности самое важное место, несомненно, принадлежит ее теоретическому исследованию путем формализации и моделирования опасных процессов. При этом под формализацией ниже подразумевается специальным образом организованное их адекватное представление в форме некоторых искусственных объектов (моделей), а под моделированием - использование полученных таким образом объектов, обладающих определенным сходством с оригиналом, для получения новых знаний об исследуемых процессах и их параметрах.

При формализации и моделировании опасных процессов, рекомендуется придерживаться ряда правил, главные из которых состоят в обеспеченности такого исследования необходимой информацией и рациональности ее использования. В частности, формализация и моделирование малоэффективны при отсутствии некоторого минимума данных об исследуемых нами процессах и бесполезны - в условиях их полной определенности или возможности проведения полномасштабных натуральных экспериментов.

Предлагается структура для моделирования происшествий в техносфере.

1. Содержательная постановка задачи.

1.1. Разработать комплекс смысловых и знаковых моделей, позволяющих установить основные закономерности возникновения техногенных происшествий и количественно оценить меру возможности их появления.

1.2. Модели должны: а) выявлять условия появления и предупреждения происшествий; б) вычислять вероятность их появления.

1.3. Исходные данные: параметры производственного объекта Ч (человека), М (машины) и С (среды), проводимых на нем технологических процессов Т, а также статистические данные по состоянию этих компонентов и их аналогов – $Q(t)$.

2. Концептуальная постановка задачи

2.1. Исходные гипотезы и предпосылки относительно моделируемого явления:

а) аварийность и травматизм на производстве могут быть описаны в соответствии с канонами теории случайных процессов в сложных системах;

б) объектом моделирования должен быть случайный процесс, возникающий на производственном объекте и завершающийся появлением происшествий (аварий или несчастных случаев);

в) поток таких происшествий допустимо считать простейшим, т. е. удовлетворяющим условиям стационарности, ординарности и отсутствия последействия;

г) каждое происшествие может возникать при выполнении конкретных технологических операций, из-за случайно возникших ошибок персонала, отказов техники и нерасчетных внешних воздействий.

2.2. С учетом вышеизложенного можно сформулировать концептуальную постановку задачи моделирования следующим образом:

а) представить аварийность и травматизм в виде процесса просеивания потока заявок $w(t)$ на конкретные технологические операции в выходной поток случайных происшествий с вероятностью $Q(t)$ их появления в момент времени t ;

б) изобразить данный процесс в виде потоков (графа, интерпретирующего возникновение причинной цепи происшествий из отдельных предпосылок.

3. Проверка и качественный анализ семантической модели

3.1. Проверить обоснованность гипотез относительно природы потоков моделируемых событий и необходимости учета факторов внешней среды:

а) возможность представления простейшим потоком также и входного потока требований на проведение технологических операций;

б) правомерность допущения о несущественности предпосылок к происшествию, обусловленных неблагоприятными внешними воздействиями;

3.2. Провести качественный анализ потокового графа с целью ответа на следующие вопросы:

а) какие производственные процессы можно считать относительно «безопасными»?

б) какое технологическое и производственное оборудование следует рассматривать более «безопасным» в эксплуатации.

4. Математическая постановка и выбор метода решения задачи

4.1. Сформулировать задачу моделирования в виде системы алгебраических уравнений и проверить корректность математических соотношений, полученных каким-либо образом:

а) с учетом гипотезы о простейшем характере потока требований на выполнение технологических операций использовать свойство его инвариантности после разрежения за счет исключения событий для получения зависимостей $Q(t) = f(C, M, C, T, t)$;

4.2. Разработать процедуру априорной оценки каждого из параметров аналитической модели и проверить корректность всех полученных математических соотношений с применением всех соответствующих правил.

Глоссарий

Авария – разрушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ (ст. 1 Федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97).

Анализ риска аварии – процесс идентификации опасностей и оценки риска аварии на опасном производственном объекте для отдельных лиц или групп людей, имущества или окружающей природной среды.

Допустимый риск - это критерий, позволяющий работать с таким уровнем безопасности когда вероятность риска уменьшена до минимума или последствия риска (при большой его вероятности) минимальны. Опасность - это нечто, способное причинить вред.

Зоны риска - территория, на которую могут повлиять нежелательные проявления несчастного случая.

Индивидуальный риск - вероятность гибели индивида в результате несчастного случая при нахождении в определенной географической точке по отношению к опасному объекту.

Идентификация опасностей аварии – процесс выявления и признания, что опасности аварии на опасном производственном объекте существуют, и определения их характеристик.

Инцидент - такое событие (или последовательность событий), которое может привести к несчастному случаю, если не будет остановлено.

Источник риска - технический объект, социальное или природное явление, которое при определенных обстоятельствах может привести к несчастному случаю.

Опасность аварии – угроза, возможность причинения ущерба человеку, имуществу и(или) окружающей среде вследствие аварии на опасном производственном объекте. Опасности аварий на опасных производственных объектах связаны с возможностью разрушения сооружений и (или) технических устройств, взрывом и (или) выбросом опасных веществ с последующим причинением ущерба человеку, имуществу и (или) нанесением вреда окружающей природной среде.

Определение приоритетных рисков - ранжирование компонентов риска по их актуальности.

Оперативные мероприятия для уменьшения риска - целенаправленный комплекс мероприятий для локализации и уменьшения последствий происшествия.

Основное событие - главное событие несчастного случая, в результате которого проявляются опасности.

Оценка риска аварии – процесс, используемый для определения вероятности (или частоты) и степени тяжести последствий реализации опасностей аварий для здоровья человека, имущества и/или окружающей природной среды. Оценка риска включает анализ вероятности (или частоты), анализ последствий и их сочетания.

Параметры риска - количественно (численно) выраженные признаки, воздействующие на риск, которые можно использовать в математических моделях риска.

Побуждающее событие - первый шаг в последовательности событий, которая ведет к несчастному случаю.

Последствия - количественно или качественно выраженный результат несчастного случая

Происшествие - событие, в результате которого причиняется вред (убытки), ситуация несчастного случая, в которой по счастливой случайности люди не пострадали.

Превентивные мероприятия для уменьшения риска - целенаправленный комплекс мероприятий, направленных на уменьшение вероятности события и уменьшение объема возможных убытков до происшествия.

Приемлемый риск аварии – риск, уровень которого допустим и обоснован исходя из социально-экономических соображений. Риск эксплуатации объекта является приемлемым, если ради выгоды, получаемой от эксплуатации объекта, общество готово пойти на этот риск.

Риск - осознанная вероятность вреда от одной или более специфических опасностей (степень риска определяется охватом населения (персонала), которое может затрагиваться).

Риск аварии – мера опасности, характеризующая возможность возникновения аварии на опасном производственном объекте и тяжесть ее последствий. Основными количественными показателями риска аварии являются:

- технический риск – вероятность отказа технических устройств с последствиями определенного уровня (класса) за определенный период функционирования опасного производственного объекта;

- индивидуальный риск – частота поражения отдельного человека в результате воздействия исследуемых факторов опасности аварий;

- потенциальный территориальный риск (или потенциальный риск) – частота реализации поражающих факторов аварии в рассматриваемой точке территории;

- коллективный риск – ожидаемое количество пораженных в результате возможных аварий за определенный период времени;

- социальный риск, или F/N кривая – зависимость частоты возникновения событий F, в которых пострадало на определенном уровне не менее N человек, от этого числа N. Характеризует тяжесть последствий (катастрофичность) реализации опасностей;

- ожидаемый ущерб – математическое ожидание величины ущерба от возможной аварии, за определенный период времени.

Социальный риск - вероятность того, что в результате несчастного случая погибнет не менее n человек. Он характеризует серьезность аварии (двумерная величина, показывающая связь между количеством погибших людей и вероятностью, что это число будет превышено).

Требования промышленной безопасности – условия, запреты, ограничения и другие обязательные требования, содержащиеся в федеральных законах и иных нормативных правовых актах Российской Федерации, а также в нормативных технических документах, которые принимаются в установленном порядке и соблюдение которых обеспечивает промышленную безопасность (ст. 3 Федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97).

Управление риском - совокупность технических, организационных, правовых и политических мероприятий, направленных на уменьшение вероятности происхождения нежелательного события и уменьшение объема возможных последствий.

Ущерб от аварии — потери (убытки) в производственной и непроизводственной сфере жизнедеятельности человека, вред окружающей природной среде, нанесенные в результате аварии на опасном производственном объекте и исчисляемые в денежном эквиваленте.

Факторы риска - качественно выраженные признаки (критерии), воздействующие на риск.

Литература

1. Антонов А.В. Системный анализ.- М.: Высшая школа, 2008.
2. Волкова В. Н. Теория систем и системный анализ : учеб. пособие для вузов / Волкова В. Н., Денисов А. А. - М. : Юрайт, 2015. - 462 с.
3. Гридэл, Т.Е. Промышленная экология : учеб. пособие для вузов. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2009. - 527с.
4. Ивченко, Б.П. Информационная экология. Ч.1, Оценка риска техногенных аварий и катастроф. Статистическая интерпретация экологического мониторинга. Моделирование и прогнозирование экологических ситуаций. – СПб.: Нордмед-Издат, 2010. - 208с.
5. Мамеева В. Е. Системный анализ и основы моделирования экосистем : учебно-метод. пособие к лаб.-практ. работам / Мамеева В. Е., - Брянск :БГСХА, 2011. - 132 с.
6. Никулин В. В. Теория систем и системный анализ : электронное учебно-метод. пособие / Никулин В. В., - Брянск :БГСХА , 2012.
7. Петракова, Н.В. Основы математического моделирования. Модели. Методы. Примеры / Петракова Н. В., Брянская ГСХА - Брянск: БГСХА, 2011. - 162 с.
8. Советов, Б.Я. Моделирование систем. Практикум. - М.: Юрайт, 2014.
9. Теория управления: учебник / Российская Академия Государственной службы при Президенте РФ; Волгоградская академия государственной службы; Орловская академия государственной службы; под ред. А. Л. Гапоненко, А. П. Панкрухина. - 3-е изд., доп. и перераб. — М. : Изд-во РАГС, 2010. — 560 с.
10. Чикуров, Н.Г. Моделирование систем и процессов. - М.: Инфра-М, 2013.
11. Шапкин, А.С. Теория риска и моделирование рискованных ситуаций: учебник / А. С. Шапкин, В. А. Шапкин. - 5-е изд. - М.: Дашков и К, 2010. - 880 с.
12. Петров, А.В. Моделирование процессов и систем [Электронный ресурс] : учебное пособие. — Электрон.дан. — СПб. : Лань, 2015. — 288 с.

Учебное издание

Панова Татьяна Васильевна
Агеенко Людмила Валерьевна

Управление рисками, системный анализ и моделирование
процессов в техносфере

Методические указания по выполнению курсовой
работы для магистров направления
20.04.01 Техносферная безопасность

Редактор Осипова Е.Н.

Подписано к печати 11.12.2015 г. Формат 60x84 1/16.
Бумага печатная. Усл. п. л. 1,97. Тираж 25 экз. Изд. № 4893

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ