

Н.Ю. Зуев, Р.Ш. Хабибулин, А.А. Рыженко, Д.Н. Рубцов, С.В. Гудин
(Академия ГПС МЧС России; kh-r@yandex.ru)

ПРАВИЛА ФОРМИРОВАНИЯ БАЗЫ ЗНАНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ

Предлагаются правила формирования базы знаний разрабатываемой экспертной системы. Проведён анализ статистических данных по пожарам на производственных объектах. Построены правила формирования сценариев аварий.

Ключевые слова: база знаний, пожарная безопасность, объекты нефтепереработки.

N.Y. Zuyev, R.Sh. Khabibulin, A.A. Rizhenko, D.N. Rubtsov, S.V. Gudin **RULES OF FORMATION OF KNOWLEDGE BASE FOR ENSURING OF FIRE SAFETY OF OIL REFINING OBJECTS**

Rules forming the knowledge base developed expert system are offered. Analysis of statistical data on fires in the industrial facilities. Built rules for the accident scenarios.

Key words: knowledge base, fire safety, oil refining objects.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 20 июня 2014 г.

На территории России функционируют свыше 20 *тыс.* производственных объектов, связанных с нефтепереработкой. Большинство из них представляет экономическую, оборонную и социальную значимость для страны, но вместе с этим данная группа предприятий относится к тем объектам защиты, на которых осуществляется технологические процессы с повышенной пожаровзрывоопасностью [1]. Важной стратегической задачей нормального долгосрочного функционирования промышленных объектов является разработка комплексов мероприятий в сфере обеспечения пожарной безопасности.

В статье представлены правила формирования базы знаний разрабатываемой экспертной системы обеспечения пожарной безопасности производственных объектов, связанных с хранением и переработкой нефти и нефтепродуктов. Основным статистическим источником данных наполнения базы является федеральная государственная информационная система "Федеральный банк данных "Пожары" [3].

На первом этапе производится анализ статистических данных.

Критериями вероятных сценариев возникновения пожаров на производственных объектах, связанных с хранением нефти и нефтепродуктов, выбраны:

- возможные причины пожаров;
- потенциальные источники воспламенения, факторы;
- варианты развития пожаров и их последствия;
- вероятные категории виновных лиц.

Результаты анализа статистических данных по пожарам, произошедшим на территории России за период 2001-2012 гг. на объектах нефтепереработки, приведены на рис. 1 [3].

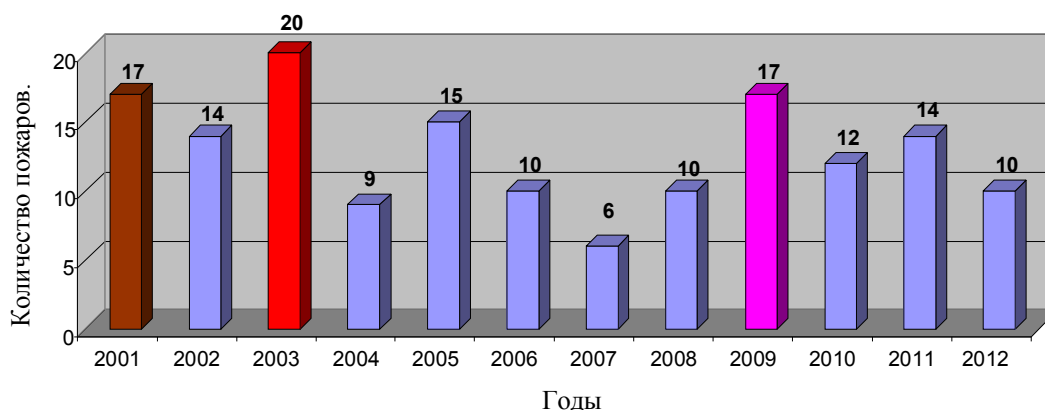


Рис. 1. Статистика количества пожаров на объектах нефтепереработки за 2001-2012 гг.

Анализ статистики показал, что за 12 лет произошло 154 пожара на производственных объектах нефтепереработки, в среднем ~13 пожаров в год. При этом погибли – 35 человек, в среднем – 3 человека в год, в том числе 2 детей, 3 работника пожарной охраны. Материальный ущерб от пожаров составил ~155 млн руб., в среднем ~12 млн руб. в год, на каждый пожар ~1 млн руб.

Первый этап формирования правил – анализ и выявление вероятных причин возникновения пожаров. Дальнейший анализ причин пожаров выявил следующее процентное соотношение:

- 1) нарушение **правил пожарной безопасности (ППБ)** при проведении электрогазосварочных работ – 32 (21 %);
- 2) неосторожное обращение персонала с огнем – 24 (16 %);
- 3) нарушение технологического регламента процесса производства – 20 (13 %);
- 4) нарушение правил технической эксплуатации электрооборудования – 14 (9 %);
- 5) разряд статического электричества – 12 (8 %);
- 6) нарушение ППБ при проведении огневых работ (отогревание труб, двигателей и пр.) – 11 (7 %);
- 7) прочие причины – 27 %.

Выявленные наиболее вероятные причины пожаров подверглись дальнейшему анализу, нахождению причинно-следственных связей. Проведён анализ наиболее вероятных причин возникновения пожаров в зависимости от категории виновников и изделий.

Учитываются следующие допущения: под устройством понимается источник зажигания, от которого непосредственно возник пожар; виновником пожара признается лицо, действие или бездействие которого привело к возникновению пожара.

Номера изделий, устройств соответствуют приказу МЧС России от 10 декабря 2008 г. № 760 "О формировании электронных баз данных учёта пожаров (загораний) и их последствий": 11 – автоматический выключатель; 14 – электрораспределительный щит, электросчетчик; 15 – выключатель, вилка, электрическая розетка, разветвитель; 16 – газовая установка, прибор, плита; 17 – кабель, провод; 23 – теплогенератор; 24 – технологический аппарат; 25 – бытовой электронагревательный прибор; 26 – электродвигатель; 31 – двигатель на жидком топливе; 32 – отходы материалов, трава, сено, камыш, мусор и т.п.; 36 – прочие изделия, устройства; 41 – деревянные, бумажные изделия, материалы; 43 – ЛВЖ, ГЖ; 48 – сигарета, спички, зажигалка, свеча; 49 – пиротехнические изделия; 50 – электроинструмент; 51 – газосварочный (электрогазосварочный) аппарат, установка; 99 – изделие (устройство) не установлено.

На основе проведенной сводной статистики по основным причинам пожаров можно выделить 3 потенциальных источника зажигания, от которых непосредственно возникал пожар:

1. Нефтепродукты (ЛВЖ, ГЖ) – 34 % (38);
2. Прочие изделия, устройства – 23 % (26);
3. Технологический аппарат – 6 % (7).

Наибольшее количество погибших людей при этом составляет:

1. Прочие изделия, устройства – 45 % (9 чел.);
2. Нефтепродукты (ЛВЖ, ГЖ) – 35 % (7 чел.);
3. Изделие (устройство) не установлено – 10 % (2 чел.).

Наибольшее количество пострадавших при этом составляет:

1. Нефтепродукты (ЛВЖ, ГЖ) – 48 % (21 чел.);
2. Прочие изделия, устройства – 18 % (8 чел.);
3. Технологический аппарат – 18 % (8 чел.).

Максимальное значение материального ущерба составляет:

1. Двигатель на жидком топливе – 45 % ($2,7 \cdot 10^6$ руб.);
2. Прочие изделия, устройства – 22 % ($1,3 \cdot 10^6$ руб.);
3. ЛВЖ, ГЖ – 19 % ($1,1 \cdot 10^6$ руб.).

Большую категорию **виновных лиц (ВЛ)**, вследствие действия или бездействия которых возник пожар, составляют работники рабочих специальностей предприятий – 34 % (~30 чел.). Статистические данные среднего возраста виновных лиц определяют, что в категории "изделия, устройства электрораспределительного щита, электросчетчика" средний возраст ВЛ достигает ~55 лет, а в категории "устройства электроинструмента" средний возраст ВЛ составляет ~28 лет.

Детальное изучение показателей каждого случая категории "изделие, устройство" по определенным выше критериям определило вывод, что в статистических данных имеется закономерность: категория "изделие ЛВЖ, ГЖ" имеет достаточно высокий показатель количества пожаров (34 %), погибших людей (35 %), пострадавших людей в результате пожара (48 %), материальный ущерб причиненный пожаром (19 %). Аналогично, из общей массы категории "изделия, устройства" выделяется также "прочие изделия и устройства", у данного

источника зажигания наблюдаются высокие показатели количества пожаров (23 %), погибших людей (45 %), пострадавших людей в результате пожара (18 %) и материального ущерба (22 %).

На втором этапе осуществляется формирование деревьев причинно-следственных связей.

Сформированные показатели статистических данных (результат первого этапа) по пожарам на производственных объектах, связанных с хранением и переработкой нефтепродуктов, определили связь между следующими разнородными данными: частота пожаров, погибшие и пострадавшие (персонал и третьи лица), материальный и экономический ущербы, категория потенциальных виновных лиц, а также их средний возраст. Результаты представлены в иерархической древовидной форме. Пример дерева событий представлен на рис. 2. Для определенности, в блок-схеме добавлены показатели статистических данных. При формировании правил показатели заменяются на соответствующие правила или альтернативные варианты.

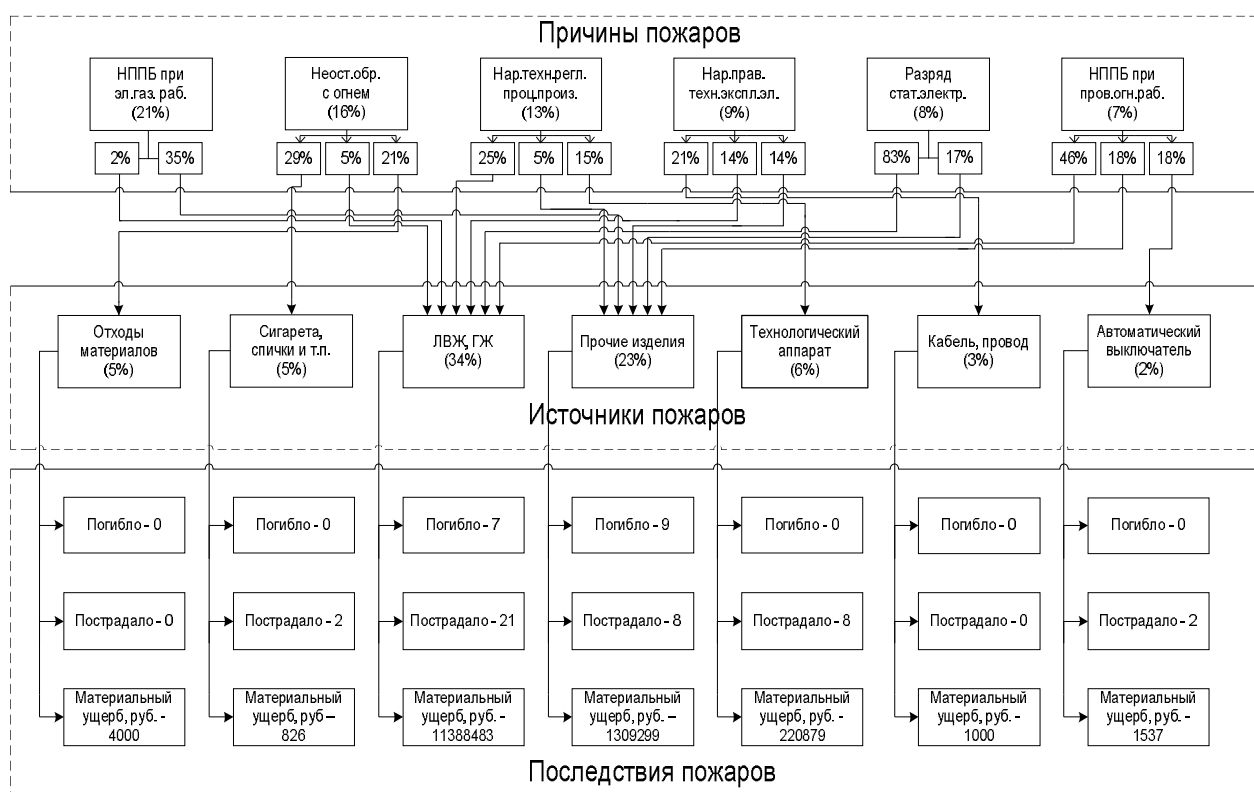


Рис. 2. Пример обобщенного иерархического дерева "фактор-источник-последствие"

В представленных деревьях для упрощения обработки пропущен средний блок развития возможных аварийных событий. Также не учтены горизонтальные связи и правила альтернативных вариантов развития. Тем не менее, полученные деревья позволяют получить общее представление о связи между потенциальными факторами и возможными последствиями.

Третий этап – формирование деревьев развития аварий.

При анализе результатов второго этапа выявлялись комбинации отказов (неполадок) оборудования, ошибок персонала и иных причин, приводящих к основному событию (пожару). Вероятность возникновения различных пожароопасных аварийных ситуаций (огненный шар, горение облака **топливно-воздушной смеси (ТВС)**, факел, горение пролива, взрыв) приняты в соответствии со статистическими данными [3]. Пример полученного дерева представлен на рис. 3.



Рис. 3. Пример дерева развития потенциальной аварии объекта хранения нефтепродуктов

При разгерметизации, разрушениях трубопроводов, разъемных соединений, неисправности запорно-регулирующей арматуры, повреждениях или полном разрушении оборудования может произойти выброс нефтепродукта в жидкофазном и газообразном состояниях. Объем выброса определяется количеством вещества, находящегося в оборудовании, площадью пролива в обвалование или при свободном разлитии и временем истечения. При низкой скорости выброса и сравнительно продолжительной его длительности количество выброшенного вещества будет зависеть в основном от времени обнаружения утечки и оперативности действия персонала по локализации аварии и ликвидации её последствий.

Анализ возможных аварийных ситуаций сводится к оценке количества нефтепродукта, попавшего в аварию, и определению последствий этой аварии с учётом наиболее вероятных условий.

Все сценарии развития аварий с нефтепродуктами разбиты на три группы:

- аварии в ёмкостном оборудовании (резервуар, ж/д цистерна, автоцистерна, баллон и т.д.);
- аварии на участках трубопровода;
- аварии на установках в закрытом помещении (насос, компрессор, установка наполнения и т.д.).

Для каждого типа оборудования рассматривается три возможных вида разрушения:

- полная разгерметизация (гильотинное разрушение) при условии заполнения жидкой фазой до нормативного уровня (на 80-85 %);
- полная разгерметизация (гильотинное разрушение) при условии заполнения жидкой фазой сверх нормативного уровня (на 100 %);
- локальная разгерметизация (образование отверстий или трещин).

В соответствии с условиями, описанными выше, для каждого объекта рассматривается около 200 возможных аварийных ситуаций, составляются деревья отказов и событий. Примеры описания сценария аварийной ситуации:

1. Полная разгерметизация (гильотинное разрушение) резервуара базы хранения (заполнение жидкой фазой 85 %) → выброс сжиженного газа без мгновенного воспламенения → растекание жидкой фазы внутри обвалования → испарение жидкости из резервуара и пролива → перемешивание паров СУГ с воздухом → образование облака ТВС → дрейф облака без воспламенения в направлении ветра → зажигание облака ТВС от внешнего источника → дефлаграционное сгорание облака.

2. Полная разгерметизация (гильотинное разрушение) установки наполнения → истечение сжиженного газа без мгновенного воспламенения → растекание жидкой фазы по поверхности помещения → испарение сжиженного газа из установки наполнения и пролива → перемешивание паров СУГ с воздухом → образование облака ТВС → зажигание облака ТВС от внешнего источника → детонационное сгорание облака.

Вывод по предыдущим этапам.

Рассмотрены основные этапы анализа риска объектов хранения нефтепродуктов. Сформулированы типовые причины и сценарии аварий, приведены примеры оценки рисков.

Четвертый этап (заключительный) – правила заполнения базы знаний.

На основе анализа факторов и причин, способствующих возникновению и развитию аварий, составлены схемы возникновения и развития аварий. Построена когнитивная карта – математическая модель, представленная в виде графа и позволяющая описывать субъективное восприятие человеком или группой людей какого-либо сложного объекта. Карта предназначена для выявления структуры причинных связей между элементами сложного объекта и оценки последствий внешних воздействий на элементы и связи между ними. Графическое представление карты наглядно показывает связи между элементами сценария. Перебор всех возможных путей на карте даёт количество возможных сценариев.

На основе графических схем поэтапно рассматриваются примеры построения правил, описывающих отношения между компонентами.

Предварительный этап – определение класса принадлежности опасного вещества. Для объектов хранения нефтепродуктов опасными составляющими являются жидкая и парообразная фазы используемого нефтепродукта. Но при разгерметизации емкостей с горючими и легковоспламеняющимися жидкостями газовая фаза не считается опасной составляющей, следовательно:

***Если ЛВЖ = есть Или СУГ = есть
То газ = есть Иначе газ = нет***

Первый этап – определение наличия на объекте одного или нескольких типов оборудования, используемого в технологическом процессе. В качестве примера рассматривается одна из ситуаций: если на объекте есть стационарный резервуар хранения и промежуточный резервуар для транспортировки или временного хранения, а также существует газовая составляющая, то газ передается по трубопроводу с использованием компрессора, то есть автоматически добавляется еще два типа оборудования:

***Если резервуар = есть То резервуар1 = есть
Если ж/д цистерна = есть Или танкер = есть Или автоцистерна = есть Или баллон = есть Или автобак = есть
То резервуар2 = есть
Если газ = есть И (резервуар1 = есть Или резервуар2 = есть)
То компрессор = есть И трубопровод = есть***

Если же передача газа или жидкости производится с использованием компрессора или насоса, то эта передача осуществляется по трубопроводу:

***Если компрессор = есть Или насос = есть
То трубопровод = есть***

Если есть стационарный резервуар хранения и промежуточный резервуар для транспортировки или временного хранения, а также существует жидкая составляющая, то передача производится по трубопроводу с использованием насоса:

***Если резервуар = есть То резервуар1 = есть
Если ж/д цистерна = есть Или танкер = есть Или автоцистерна = есть Или баллон = есть Или автобак = есть То резервуар2 = есть
Если жидкость = есть И (резервуар1 = есть Или резервуар2 = есть) То насос = есть И трубопровод = есть***

Аналогично строятся правила всех последующих этапов.

На основе описанных выше правил построены классы, которые будут переходом от языка моделирования к программно-алгоритмическому.

1 класс: причины аварий.

В зависимости от имеющегося в наличии оборудования, а также степени заполнения этого оборудования, по готовым правилам происходит поиск и выбор имеющихся объектов (рис. 4).



Рис. 4. Поиск и выбор имеющихся объектов

Входная информация:

List_in (резервуар, ж/д цистерна, автоцистерна, танкер, баллон, автомобильный бак, трубопровод, насос, компрессор, заполнение сверх нормативного уровня (100 %), заполнение до нормативного уровня (85 %).

Внутри происходит поиск и выбор *объектов = есть* по правилам (0-3).

На выходе получим:

List_out(список объектов = есть).

2 класс: последствия аварий

После того, как были определены имеющиеся объекты, по составленным правилам происходит формирование сценариев аварий (рис. 5). В результате будут получены готовые сценарии.

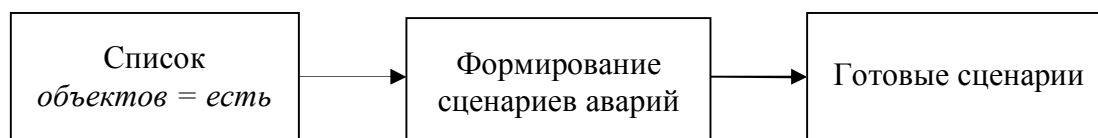


Рис. 8. Формирование сценариев аварий на основе исходных данных

Входная информация:

List_in (список объектов = есть)

Внутри происходит подготовка и формирование сценариев аварий на основе исходных данных по представленным правилам.

На выходе получим:

List_out (готовые сценарии)

Таким образом, построены схемы возникновения и развития аварий технологического оборудования с нефтепродуктами, отражающие возможные причины и последствия аварий; построены правила формирования сценариев аварий; описаны классы, являющиеся переходом от языка моделирования к программно-алгоритмическому.

Заключение

Полученные данные можно применить для объединения имеющихся сведений под единый знаменатель с целью формирования базы знаний для разработки необходимой экспертной системы, позволяющей делать полный анализ состояния пожарной безопасности промышленных объектов складирования и переработки нефти и нефтепродуктов. Предлагаемая система позволит специалистам оперативно проводить анализ пожарной обстановки и эффективно (своевременно) принимать меры по снижению вероятности возникновения возможной аварийной ситуации.

Литература

1. **Белов П.Г.** Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере: учеб. пос. для вузов. М.: Академия, 2003.
2. **Федеральная** целевая программа "Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2015 года" (утв. пост. Правительства РФ от 07 июля 2011 г. № 555).
3. **Федеральный** банк данных "Пожары" // Федеральная государственная информационная система.
4. **ГОСТ Р 12.3.047-98.** Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
5. **Приказ** МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404. Об утверждении методики определения расчётных величин пожарного риска на производственных объектах.
6. **Федеральный закон** Российской Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".
7. **Зуев Н.Ю., Хабибулин Р.Ш., Рыженко А.А.** Формирование базы данных экспертной системы по обеспечению пожарной безопасности объектов складирования нефти и нефтепродуктов // Матер. 2-й междунар. науч.-практ. конф. молодых учёных и специалистов "Проблемы техносферной безопасности – 2013". М.: Академия ГПС МЧС России, 2013. С. 118-122.
8. **Гудин С.В., Хабибулин Р.Ш.** Оценка сценарной и модельной неопределенности при расчёте потенциальных пожарных рисков на территории нефтебазы // Тезисы докладов XIV Всероссийской конференции молодых учёных по математическому моделированию и информационным технологиям. Томск: Институт вычислительных технологий СО РАН, 2013. С. 56-57.
9. **Рыженко А.А., Хабибулин Р.Ш.** Информационная технология визуализации взрывов и пожаров на производственных объектах // Труды КНЦ РАН. Информационные технологии. Выпуск №3. Апатиты, 2012. С. 186-190.
10. **Лебедева М.И., Федоров А.В.** Повышение уровня пожаровзрывобезопасности нефтеперерабатывающих технологических процессов путем анализа и управления рисками // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2013. № 2. С. 34-37.