

Прогнозирование чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных производственных объектах

02, февраль 2016

Лебская Т. А.

УДК 65.012.122

¹Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

Tutiana95@mail.ru

Введение

Крупнейшие техногенные аварии и катастрофы, произошедшие в последние годы в Европе и России, оказали влияние практически на все сферы существования человеческого общества, нанесли значительный урон природной среде и жизнедеятельности людей.

С увеличением масштабов производственной деятельности, а именно потенциально опасных и опасных производственных объектов, связанных с большим запасом взрыво-, пожаро- и токсикоопасных веществ, возникает потенциальная угроза роста числа аварий и чрезвычайных ситуаций с тяжелыми социальными, экономическими и экологическими последствиями.

На основании проведенного анализа статистических данных по аварийным событиям по отдельным отраслям за последнее десятилетие можно говорить, что процент аварий хоть и снижается, тем не менее сохраняется высокая степень риска крупномасштабных чрезвычайных ситуаций на территории Российской Федерации, что может существенно повлиять на экономический рост страны [1].

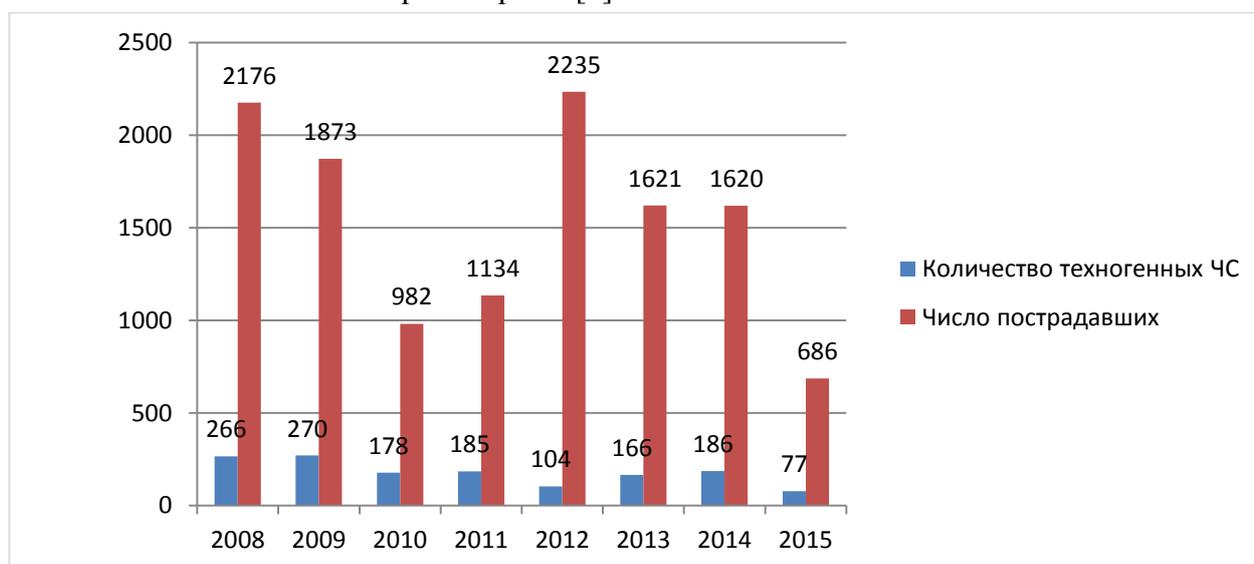


Рис. 1. Статистика аварийных событий

По данным МЧС, в настоящее время в стране функционируют свыше 45 тысяч потенциально опасных объектов, представляющих экономическую, оборонную и социальную значимость для страны, но и одновременно несущих потенциальную опасность для здоровья и жизни людей при возникновении на них аварий. 70% из них расположены в 146 городах с населением более 100 тысяч человек каждый. Многие из этих объектов являются источниками возникновения аварий и техногенных чрезвычайных ситуаций [2].

Чрезвычайная ситуация-обстановка на определенной территории или акватории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей [3].

Следует также отметить, что основными причинами и источниками аварий и техногенных чрезвычайных ситуаций являются [1,4]:

- 1) увеличение количества потенциально опасных объектов, многие из которых расположены в крупных городах и густонаселенных районах;
- 2) хозяйственная деятельность человека, направленная на получение энергии, развитие энергетических, промышленных, транспортных и других комплексов;
- 3) рост сложности производства, обусловленный появлением новых технологий, требующих высоких концентраций энергии, опасных для человека веществ, оказывающих отрицательное воздействие и на окружающую среду;
- 4) изношенность и ненадежность оборудования, физический износ и моральное старение систем, комплексов;
- 5) снижение общего уровня образования и профессиональной подготовки персонала, слабая технологическая дисциплина;
- 6) усиление угрозы международного и внутреннего терроризма;
- 7) недостаточное финансирование деятельности по обеспечению безопасности населения и защищенности опасных объектов.

Одной из категорий рассматриваемых объектов являются магистральные нефтегазопроводы и объекты подземного хранения природного газа [5]. Следует отметить, магистральные нефтегазопроводы представляют собой сложные инженерно-технические сооружения, к которым предъявляются высокие требования по надежности и безопасности в течение всего срока эксплуатации. Установлено, что большинство отказов и повреждений магистральных трубопроводов, по следующим причинам:

- 1) внешнее антропогенное воздействие,
- 2) влияние природных факторов,
- 3) проектно-технологические факторы,
- 4) высокая коррозионная активность рабочих сред,
- 5) низкая коррозионная надежность материалов, применяемых для изготовления труб,
- 6) физический износ и моральное старение систем, комплексов и средств защиты потенциально опасных объектов.

Причинами смертельного травматизма людей на объектах магистрального трубопроводного транспорта могут быть как нарушения требований промышленной безопасности руководством и персоналом компаний в процессе эксплуатации, так и ошибки в технического обслуживании трубопроводов и оборудования [5].

В качестве подтверждения высокой опасности объектов нефтегазового комплекса, приведем статистику аварий и динамику травматизма основании данных Ростехнадзора (рис. 2, 3)

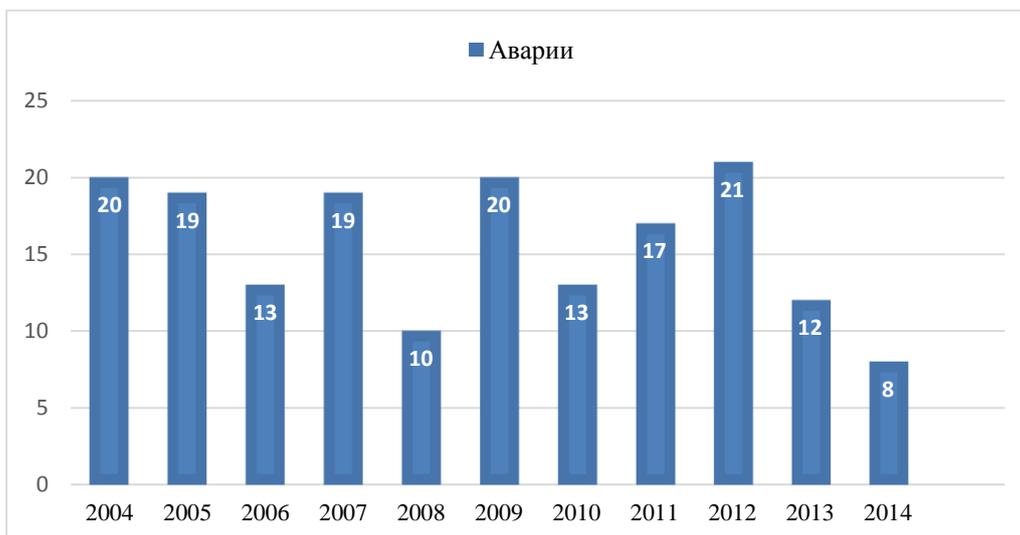


Рис. 2. Статистика аварий на магистральных нефтегазопроводах

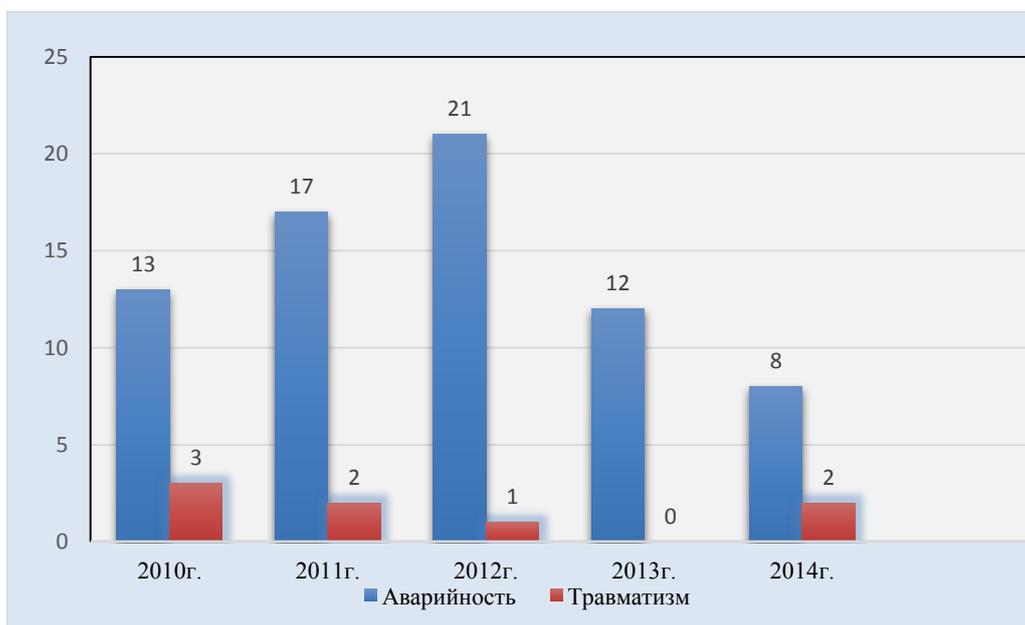


Рис. 3. Динамика аварийности и производственного травматизма в период с 2010 г. по 2014 г. на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта

Таким образом, одной из важных задач является обеспечение высокого уровня надежности и безопасности объектов нефтегазового комплекса, в частности магистральных нефтегазопроводов, от угроз природного, техногенного характера, а также террористических актов.

На основании вышесказанного, можно говорить о том, что актуальность проблемы определяется необходимостью разработки научно-методического обеспечения проблемы повышения защищенности потенциально опасных объектов Российской Федерации, в том числе и опасных производственных объектов, с учетом их состояния в условиях пересмотра приоритетов в обеспечении национальной безопасности Российской Федерации, а также в связи с ростом угроз в техногенной и природной сфере обусловленных рядом внешних и внутренних негативных факторов.

Поэтому проблема анализа риска на опасных производственных объектах, в связи с этим становится все более актуальной для устойчивого развития современного общества.

Анализ риска аварий является составной частью управления промышленной безопасностью и заключается в систематическом использовании всей доступной информации для идентификации опасностей и оценки риска возможных нежелательных событий.

В процессе анализа риска осуществляется выявления факторов риска и оценки их значимости, анализ вероятности того, что произойдут нежелательные события, отрицательно влияющие, на достижение целей организации. А также оценка риска и разработка методов по снижению последствий аварий и техногенных чрезвычайных ситуаций, в том числе на магистральных нефтегазопроводах. Федеральным государственным надзором в области промышленной безопасности осуществляется контроль в отношении 4301 опасного производственного объекта магистрального трубопроводного транспорта, в том числе участков магистрального газопровода [5].

Следовательно, обеспечение безопасности магистральных нефтегазопроводов имеет огромное значение для энергетической безопасности страны. Угроза возникновения аварий на потребителях транспортируемого сырья должна быть минимизирована.

На сегодняшний день существует три базовых направления по обеспечению техногенной безопасности [6]:

- современная диагностика состояния промышленных объектов на всех стадиях жизненного цикла;
- мониторинг состояния опасных производственных объектов;
- прогнозирование возможности возникновения аварий и техногенных чрезвычайных ситуаций, в частности на магистральных нефтегазопроводах.

Развитие методов и создание оперативной диагностики и мониторинга аварийных ситуаций, а также разработка мероприятий по снижению последствий техногенных аварий и катастроф, имеющих глобальный, национальный или региональный характер является одной из важных научных проблем. Однако средств для практической реализации методов анализа риска потенциально опасных объектов техносферы недостаточно на сегодняшний день.

С одной стороны, это связано с взаимодействием технических систем и предприятий с окружающей средой в широком смысле, а также самого человека как элемента окружающей среды в узкой среде и, следовательно, проживающее вблизи объекта население.

С другой стороны, это обусловлено сложностью проблемы, которая решает вопросы моделирования и прогнозирования функционирования потенциально опасных объектов. Эта проблема охватывает большой комплекс вопросов технических, экономических, социальных, правовых и взаимосвязи этих вопросов по решению поставленной задачи разработки системы, по оценке риска потенциально опасных объектов.

Целесообразно сконцентрировать усилия на наиболее эффективных методах предупреждения аварий и чрезвычайных ситуаций, а также важных для страны потенциально опасных объектах и в тоже время представляющих наибольшую угрозу для населения – критически важных опасных производственных объектах.

На основании вышеизложенного, можно утверждать, что возможность прогнозирования с высокой точностью аварий и техногенных чрезвычайных ситуаций является эффективным инструментом по принятию заблаговременных мер по предотвращению аварий и техногенных чрезвычайных ситуаций на опасных производственных объектах.

Однако, прежде чем переходить к методам прогнозирования аварий и техногенных чрезвычайных ситуаций, необходимо рассмотреть признаки и количественные показатели аварий и техногенных чрезвычайных ситуаций, которые могут быть использованы для разработки методов прогнозирования.

Построение нового поколения методов прогнозирования и моделирования кризисных явлений, аварий, техногенных чрезвычайных ситуаций и катастроф является актуальной проблемой последнего десятилетия. Модель позволяет оценивать влияние значений параметров системы обеспечения ресурсами на результаты ликвидации ЧС. Для этого необходимо определить взаимоотношение основных параметров системы, которое позволит осуществить математические постановки задач оптимизации параметров системы обеспечения ресурсами [7].

Решение любой практической задачи с помощью теории вероятностей, в свою очередь, также сводится к построению математической модели данной задачи. Существует много способов построения математических моделей, но в каждом случае требуется построить упрощенную модель объекта и сохранить ее адекватность реальному объекту. Зачастую модели бывают настолько сложными, что необходима проверка адекватности модели, например, эмпирическим методом, требующая работу широкого круга специалистов различного профиля, что сделать, как правило, практически невозможно.

Кроме того, для анализа причин чрезвычайных ситуаций, их прогнозированию и выработке мер по предупреждению необходима дифференцированная структура базы данных по чрезвычайным ситуациям и источникам и их причинно-следственным связям.

Событие, заключающееся в реализации чрезвычайной ситуации, (событие E) возможно лишь при реализации его источника (событие E_I). Вероятность совмещения событий $E \cap E_I$ равна

$$P\{E \cap E_I\} = P\{E_I\} \cdot P\{E | E_I\} \quad (1)$$

где $P\{E_I\}$ - вероятность реализации источника чрезвычайной ситуации (аварии, пожара, взрыва и т.д.);

$P\{E | E_I\}$ - вероятность возникновения чрезвычайной ситуации при условии реализации источника чрезвычайной ситуации.

Вероятность возникновения чрезвычайной ситуации на i -м объекте в течение одного года $P_i\{(E \cap E_I) / \text{один год}\}$. Она может быть локализована и ликвидирована в течение времени τ_i . Для упрощения расчетов вероятность будем записывать как P_{iE} .

В течение времени $\tau^{\max} = \max\{\tau_i\}$ возможно одновременное развитие чрезвычайных ситуаций на множестве объектов $\{\Omega\}$ с вероятностью P^Ω

Реализация чрезвычайной ситуации техногенного характера возможно лишь в трех следующих случаях:

1. Источником чрезвычайной ситуации стала запроектная промышленная авария [8,9,10], под которой понимается авария, вызываемая не учитываемыми для проектных аварий исходными состояниями и сопровождающаяся дополнительными по сравнению с проектными авариями отказами систем безопасности и реализациями ошибочных решений персонала, приведшим к тяжелым последствиям.
2. Источником чрезвычайной ситуации может стать и проектная промышленная авария [8, 9, 10, 11, 12], если при этом нарушены различные требования (градостроительные, по предупреждению чрезвычайных ситуаций, экологические, охране труда и др.) обеспечивающие безопасность территорий, населения, проживающего вблизи опасного технического объекта и производственного персонала или, существуют области нашего незнания проблемы, в результате которого не были сформулированы необходимые требования.
3. Источником чрезвычайной ситуации стала умышленно запрограммированная и реализованная промышленная авария (террористический акт) [13], под которой понимается промышленная авария, вызываемая в результате умышленного действия человека, направленного на достижение максимального ущерба.

Для создания эффективной системы предупреждения чрезвычайных ситуаций техногенного характера на критически важных опасных производственных объектах с учетом их состояния необходимо уметь прогнозировать риски чрезвычайных ситуаций техногенного характера, причем необходимо уметь делать это как можно точнее и на максимально возможный временной интервал (горизонт прогноза).

На сегодняшний день отсутствует строгое определение прогноза рисков чрезвычайных ситуаций техногенного характера, однако имеется определение прогноза техногенных чрезвычайных ситуаций, которое формулируется следующим образом [14,15]: опережающее отражение вероятности появления и развития техногенных чрезвычайных ситуаций и их последствий на основе оценки риска возникновения пожаров, взрывов, аварий, катастроф.

Однако здесь возникает известное противоречие, чем больше горизонт прогноза, тем меньше точность собственно прогноза. Необходима оптимизация данного прогноза, т.е. в зависимости от решаемой проблемы необходимо оптимальное сочетание параметров: точность прогноза и глубина прогноза риска чрезвычайной ситуации техногенного характера.

Анализ проблемы прогноза рисков чрезвычайных ситуаций техногенного характера показывает, что имеется три временных интервала прогноза и соответственно три типа прогноза, в каждом из которых необходим свой подход:

Временной интервал, в течение которого состояние элементов, технической системы практически не изменяются, квазистабильное состояние.

Состояние параметров технической системы описывается выражением:

$$\vec{B} \equiv \text{const} \quad (2)$$

где \vec{B} - вектор - столбец параметров, характеризующих состояние элементов технической системы. Квазистабильное состояние системы и неизменность параметров, характеризующих ее состояние, зависит от рассматриваемой системы, ее специфики, внешней среды и других обстоятельств.

Прогноз риска чрезвычайной ситуации достигается численным моделированием развития аварийных процессов, источника чрезвычайной ситуации и дальнейшим моделированием развития самой чрезвычайной ситуации и ее последствий. В этой области имеется достаточно работ, в которых изложены принципы моделирования аварий, в том числе и запроектных, технических систем, что позволяет спроектировать систему дифференциальных характеристик прогноза риска чрезвычайной ситуации.

Прогноз риска чрезвычайной ситуации техногенного характера на период квазистабильного состояния технической системы, являющейся источником чрезвычайной ситуации, будем называть оперативным прогнозом. Временной интервал оперативного прогноза может иметь место от секунд до нескольких десятков суток.

Временной интервал, в течение которого состояние элементов, технической системы меняется по закону близкому к линейному. Эта ситуация реализуется в тех случаях, когда в течение рассматриваемого интервала времени на техническом объекте нет перехода на новые технологии, отсутствует значительное расширение производства и др.

Состояние параметров технической системы \vec{Y} описывается выражением:

$$\vec{Y} = \vec{K} \cdot T + \vec{B} \quad (3)$$

где \vec{Y} - вектор - столбец параметров, характеризующих состояние элементов технической системы на прогнозный момент времени T ;

\vec{B} - вектор - столбец параметров, характеризующих состояние элементов технической системы на текущий момент времени;

\vec{K} - вектор - столбец коэффициентов параметров, характеризующих состояние элементов технической системы;

T - время.

Прогноз риска чрезвычайной ситуации техногенного характера на период линейного изменения параметров состояния технической системы, являющейся источником чрезвычайной ситуации, будем называть среднесрочным (линейным) прогнозом. Временной интервал среднесрочного прогноза может иметь место от месяца до нескольких (3-5) лет.

Прогноз рисков чрезвычайных ситуации техногенного характера в данном временном интервале представляет наибольший практический интерес, поскольку при достаточно глубоком горизонте прогноза сохраняется его точность, имеется значительная информационная база по интегральным и дифференциальным показателям риска, которая может быть использована для тарировки методик прогноза. Прогноз рисков чрезвычайных ситуаций на период от 1 до 5 лет могут представлять значительный интерес для формирования социально-экономических прогнозов, для планирования размещения сил и средств, для формирования финансовых и материальных резервов на предупреждение и ликвидацию чрезвычайных ситуаций и для развития системы страхования от чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

Временной интервал, в течение которого состояние элементов, технической системы меняется по нелинейному закону. Эта ситуация реализуется в случаях, когда в течение рассматриваемого интервала времени на техническом объекте имелся переход на новые технологии, произведено значительное расширение производства, длительный период не обновлялись основные фонды, поэтому в системе начались необратимые деградационные процессы, низкий уровень профессионализма персонала и т.д.

Состояние параметров технической системы \vec{Y} описывается выражением:

$$\vec{Y} = \vec{B} + \vec{\Psi}(\vec{B}, T) \quad (4)$$

где \vec{Y} - вектор - столбец параметров, характеризующих состояние элементов технической системы на прогнозный момент времени T ;

\vec{B} - вектор - столбец параметров, характеризующих состояние элементов технической системы на текущий момент времени;

$\vec{\Psi}(\vec{B}, T)$ - вектор – столбец, характеризующий нелинейное изменение параметров, характеризующих состояние элементов технической системы на момент времени T .

Прогноз риска чрезвычайной ситуации техногенного характера на период нелинейного изменения параметров состояния технической системы, являющейся источником чрезвычайной ситуации, будем называть долгосрочным (нелинейным) прогнозом. Временной интервал долгосрочного прогноза может иметь место от 5 до 20 лет.

Прогноз рисков чрезвычайных ситуаций техногенного характера в данном временном интервале имеет значительную неопределенность и представляет интерес для стратегического развития государства в целом или отдельной отрасли. Прогноз рисков чрезвычайных ситуаций на период от 5 лет и более из-за значительной неопределенности представляет интерес с точки зрения интегральных характеристик.

Заключение

Подводя итоги анализа, следует отметить, что создание методики оценки состояния техногенных потенциально-опасных объектов является крайне актуальной задачей и должна включать:

- 1) рассмотрение и анализ модели потенциально-опасного объекта

- 2) методику прогнозирования изменения состояния потенциально-опасного объекта сформированную на основе математических моделей, описывающих закономерности возникновения чрезвычайных ситуаций;
- 3) численное моделирование развития аварийных процессов, источника чрезвычайной ситуации
- 4) дальнейшее моделирование развития самой чрезвычайной ситуации и ее последствий.

Список литературы

- [1]. Государственные доклады Министерства Российской Федерации о состоянии защиты населения, территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера и ликвидации последствий стихийных бедствий за 2008 – 2015 гг. Москва 2008 - 2016 гг. Режим доступа: <http://www.mchs.gov.ru/activities/results> (дата обращения: 25.01.2016)
- [2]. Государственный доклад о результатах 2014 года и основных направлениях деятельности МЧС России на 2015 - 2018 гг. Режим доступа: http://www.mchs.gov.ru/activities/results/Doklad_o_rezultatah_2014_g._i_osnovnih_n (дата обращения: 25.01.2016)
- [3]. ГОСТ Р 22.0.02-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения основных понятий (с Изменением N 1). Введ. 1996-01-01. N 327. М.: ИПК Изд-во стандартов. 2000. 13 с.
- [4]. Основы государственной политики в области обеспечения безопасности населения Российской Федерации и защищенности критически важных и потенциально опасных объектов от угроз техногенного, природного характера и террористических актов. Утв. Президентом РФ 28 сентября 2006 г. Пр-1649.
- [5]. Государственные отчеты о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору за 2004-2014 гг. Режим доступа: http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/ (дата обращения: 25.01.2016)
- [6]. Махутов Н.А., Гаденин М.М. Техногенная безопасность: Диагностика и мониторинг состояния потенциально опасного оборудования и рисков его эксплуатации. Федеральный справочник: Информационно-аналитическое издание. Т. 26. М.: НП «Центр стратегического партнерства». 2012. С. 307 – 314.
- [7]. Наумов И.С. Оценка возможного ущерба от чрезвычайной ситуации при отсутствии обеспечения ресурсами процесса ее ликвидации. // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. Томск. 2011 г. № 1 (23). С. 184 – 187.
- [8]. Фролов К.В., Махутов Н.А., Проценко А.Н. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Функционирование и развитие сложных народнохозяйственных, технических, энергетических, транспортных систем, систем связи и коммуникаций. Раздел 1, 2. М.: МГФ «Знание». 1998. 448 с., 416 с.

- [9]. Кульчев В.М., Иванов Е.А., Сидоров В.И., Агапов А.А., Белов М.И., Бородавский С.Я., Буйко К.В., Буйновский С.Н., Васильчук М.П., Грицков В.В., Дадонов, Ю.А., Денисов А.В., Зимич В.С., Ильин А.М., Карабанов Ю.Ф., Кирьянов Ю.Г., Кловач Е.В., Котельников В.С., Красных Б.А., Кручинина И.А., Лисанов М.В., Лозовой В.Д., Лыков С.М., Малый А.А., Махутов Н.А., Павловский А.С., Петриченко Е.В., Печеркин А.С., Пешков В.Р., Покровская О.В., Поливанова Е.И., Симакин В.В., Сорокин А.А., Стандрик Р.А., Субботин А.И., Теплов А.Ф., Ткаченко В.А., Ханин Е.В., Хапонен Н.А., Чигрин В.Д., Шалаев В.К., Шаталов А.А. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Безопасность промышленного комплекса. М.: МГФ «Знание», ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность». 2002 г. 464 с.
- [10]. ГОСТ Р 22.0.05-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения. Введ. 1996-01-01. М.: Изд-во стандартов. 1995. 17 с.
- [11]. Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика и прогнозы будущего. / Серия «Кибернетика: неограниченные возможности и возможные ограничения». М.: Наука. 1997. 285 с.
- [12]. Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Новое в синергетике: Взгляд в третье тысячелетие. / Ред. Г.Г.Малинецкий, С.П.Курдюмов. / Серия «Информатика: неограниченные возможности и возможные ограничения». М.: «Наука». 2002. 480 с.
- [13]. Потапов Б.В, Радаев Н.Н. Экономика природного и техногенного рисков. М.: ЗАО ФИД "Деловой экспресс". 2001. 513 с.
- [14]. ГОСТ Р. 22.1.01-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование. Основные положения. Введ. 1997-01-01. М.: ИПК Изд-во стандартов. 1996. 5 с.
- [15]. ГОСТ Р. 22.1.02-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование. Термины и определения. Введ. 1997-01-01. М.: ИПК Издательство стандартов. 1996. 10 с.