
БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

МЕТОДЫ АНАЛИЗА ПОЖАРНЫХ РИСКОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**В.Ф. Щетка, кандидат военных наук, профессор;
А.Б. Акимова;
В.Я. Трофимец, доктор технических наук, профессор.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Проведён анализ статистических данных по взрывам, пожарам и выбросам опасных веществ на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности за 2012–2015 гг., а также рассмотрены основные методы оценки пожарного риска на предприятиях нефтеперерабатывающей промышленности.

Ключевые слова: нефтеперерабатывающий завод, анализ пожарного риска, структурированная таблица, методы системного анализа, оценка, статистика, пожар, безопасность, взрыв

THE METHODS OF ANALYSIS OF FIRE RISKS AT THE ENTERPRISE OF THE OIL REFINING INDUSTRY

V.F. Schetka; A.B. Akimova; V.Ya. Trofimetc.
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

There is the review of statistics of explosions, fires, and emergency situations at the refining and petrochemical industry for the years 2012–2015, the main reasons for their occurrence, the main methods of assessing fire risk at the enterprises of oil refining industry in the article.

Keywords: refinery, fire risk analysis, a structured table, methods of system analysis, evaluation, statistics, fire, safety, explosion

Ежегодно на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности происходят аварии, причем количество пожаров, взрывов и аварий имеют тенденцию к увеличению. Особенности развития современной экономики, в частности ее зависимость от объемов добычи, транспортировки и переработки углеводородов, предъявляют повышенные требования к обеспечению безопасности данной отрасли [1]. Нефтеперерабатывающие и нефтехимические предприятия относят к категории опасных производственных объектов (ОПО), представляющих опасность для человека и окружающей среды. В ходе первичной переработки нефти в атмосферу выделяется огромное количество вредных веществ, которые обладают токсичными свойствами [2].

К авариям на данных производствах приводят как нарушение правил пожарной безопасности, погодные условия, так и человеческий фактор. В табл. 1 приведены статистические данные Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, характеризующие количество пожаров, взрывов и выбросов опасных веществ на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической отрасли.

Анализ показывает, что за 2012–2015 гг. произошло 63 опасных события, в том числе 19 взрывов (30 % от общего количества опасных событий), 24 пожара (38 %) и 20 аварий с выбросом опасных веществ (32 %). Сведения о пожарах и взрывах, произошедших на нефтеперерабатывающих заводах в России в 2012–2015 гг., представлены в табл. 2 [3].

Таблица 1. Опасные события на нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях за 2012–2015 гг.

Опасные события, виды	2012 г.		2013 г.		2014 г.		2015 г.		Всего	
		%		%		%		%		%
Пожар	5	28	6	43	8	42	5	42	24	38
Взрыв	6	33	3	21	5	26	5	42	19	30
Выброс опасных веществ	7	39	5	36	6	32	2	16	20	32
Всего	18	100	14	100	19	100	12	100	63	100

Таблица 2. Опасные события на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности Российской Федерации за 2012–2015 гг.

№	Дата аварии	Объект	Место аварии	Причина	Вид опасного события
1	2012 г.	ЗАО «Рязанский нефтеперерабатывающий завод»	Пожар на линии подачи газопродуктовой смеси из реактора Р-1 в реактор Р-7 в месте установки быстросъемной заглушки	Разгерметизация штуцера манометрической сборки (несоответствующее материальное исполнение штуцера)	Пожар
2	2012 г.	ОАО «Саратовский нефтеперерабатывающий завод»	Секция висбрекинга гудрона установки первичной переработки нефти ЭЛОУ –ФВТ-6	Разгерметизация фланцевого соединения быстросъемной заглушки выход газопродуктовой смеси с ее самовоспламенением	Взрыв
3	2013 г.	ООО «РН Комсомольский нефтеперерабатывающий завод»	Змеевик печи	Разгерметизация змеевика печи из-за перегрева, до температуры, превышающей предельно допустимые значения для стали	Взрыв, пожар
4	2014 г.	Рязанская нефтеперерабатывающая компания	Территория предприятия, эстакада цеха № 11	Выезд вагонов-цистерн на территорию предприятия с разрушением въездных ворот и столкновением с эстакадой цеха № 11, приведшие к разгерметизации вагонов-цистерн и технологических трубопроводов с последующим возгоранием истекающих горячих веществ	Выброс опасных веществ, взрыв, пожар, разрушение сооружений
5	2014 г.	Куйбышевский нефтеперерабатывающий завод	Пожар в горячей насосной установке первичной переработки нефти ЭЛОУ-АВТ-3,5	Организационные причины	Выброс опасных веществ, пожар
6	2014 г.	Саратовский нефтеперерабатывающий завод	Установка ЭЛОУ – АВТ – 6, горячая насосная	Разгерметизация глухого фланцевого соединения отвода технологического трубопровода нагнетания насоса для перекачки мазута с его самовоспламенением и последующим пожаром	Выброс опасного вещества, пожар
7	2015 г.	Комсомольский нефтеперерабатывающий завод	Установка гидроочистки дистилляторов	Разрушение технологического трубопровода с последующим выбросом топливно-воздушной смеси продукта с ее воспламенением и развитием пожара	Выброс опасных веществ, пожар

Исходя из имеющихся данных, очевидно, что пожары и взрывы на нефтеперерабатывающих предприятиях происходят по различным причинам, основными являются: нарушение правил пожарной безопасности, некачественный монтаж оборудования, износ оборудования, некачественная молниезащита и др.

В связи с этим Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору был разработан план основных направлений деятельности на 2015–2017 гг., включающий разработку подпрограммы «Развитие системы обеспечения промышленной безопасности» [4]. Основной целью подпрограммы «Развитие системы обеспечения промышленной безопасности» является обеспечение промышленной, радиационной безопасности на опасных объектах. Достижение цели реализуется путем проведения анализа ранее допущенных ошибок и разработки основных технологических решений обеспечения пожарной безопасности на объектах.

В настоящее время активно развиваются методы оценки и управления пожарными рисками.

При этом необходимо учитывать разницу между опасностями и рисками. Опасность аварии – системное свойство, характеризующее возможность возникновения аварии с причинением ущерба.

Риск аварии – мера опасности, измеряющая частоту возникновения аварии и тяжесть ее последствий (параметр ОПО/аварийности, показатель опасности) [2].

Во взаимосвязи с современными методиками расчетов пожарных рисков на нефтеперерабатывающих предприятиях, системами управления пожарными рисками методы оценки и управления пожарными рисками позволяют развивать систему защиты предприятий.

Вместе с тем в сфере управления рисками применительно к предприятиям нефтеперерабатывающей промышленности существует целый ряд проблем.

Специфика задач управления пожарными рисками требует создания методов, алгоритмов управления пожарными рисками, учитывающих различные условия неопределенности.

Существует большое количество методов по оценке рисков на предприятиях нефтеперерабатывающей промышленности.

Проведенный анализ показывает, что для детального изучения проблемы возникновения рисков на предприятиях нефтеперерабатывающей промышленности находят применение различные методы, сведения о которых представлены в табл. 3.

Таблица 3. Структурированная таблица методов анализ рисков

Источники	Метод	Суть метода
Авторы: А. Meel, L.M. O'Neill, J.H. Levin, Департамент химической и биомолекулярной инженерии Университета Пенсильвании, Филадельфия, Пенсильвания, США	Метод расчета пожарного риска для нефтехимической компании с использованием преобразований Фурье	Суть метода заключается в выполнении последовательных действий, отображенных на рис. 1
Авторы: А. Maryam Kalantarnia, Faisal Khan, Kelly Hawboldt, факультет технических наук, Университет Ньюфаундленда, Канада	Динамический подход к оценке рисков	Используя данный метод, необходимо решить следующие задачи: – описать все возможные в будущем варианты развития событий, соответствующие риску, возможные случайные события, исходы, принятия решений; – определить вероятности каждого из этих случайных событий

Источники	Метод	Суть метода
Авторы: М. Bertolini, М. Bevilacqua, F.E. Ciarapica, G. Giacchetta (отдел промышленной инженерии, Университет Пармы, Италия; Министерство энергетики, Университет Монтальто-делле-Марке, Италия)	Метод экспертных оценок. Метод Делфи	Определение наличия опасности возникновения риска
Авторы: Maryam Kalantarnia, Faisal Khan, Kelly Hawboldt, факультет технических наук, Университет Ньюфаундленда, Канада	Метод оценки пожарного риска для нефтехимической компании с использованием Байесовских сетей	Расчет вероятности на основе ранее известной информации
Авторы: Faisal I. Khan, S.A. Abbasi, Университет Пондичерри, Пондичерри, Индия	Трехступенчатая система оценки пожарного риска на нефтеперерабатывающих предприятиях	Трехступенчатая процедура оценки опасности, разработанная Всемирной организацией здравоохранения и Международной организацией труда

Каждый из указанных методов имеет свою специфику и особенности применения. Проведем краткий анализ данных методов.

На рис. 1 приведен алгоритм расчета пожарного риска на нефтеперерабатывающем предприятии с использованием быстрого преобразования Фурье.

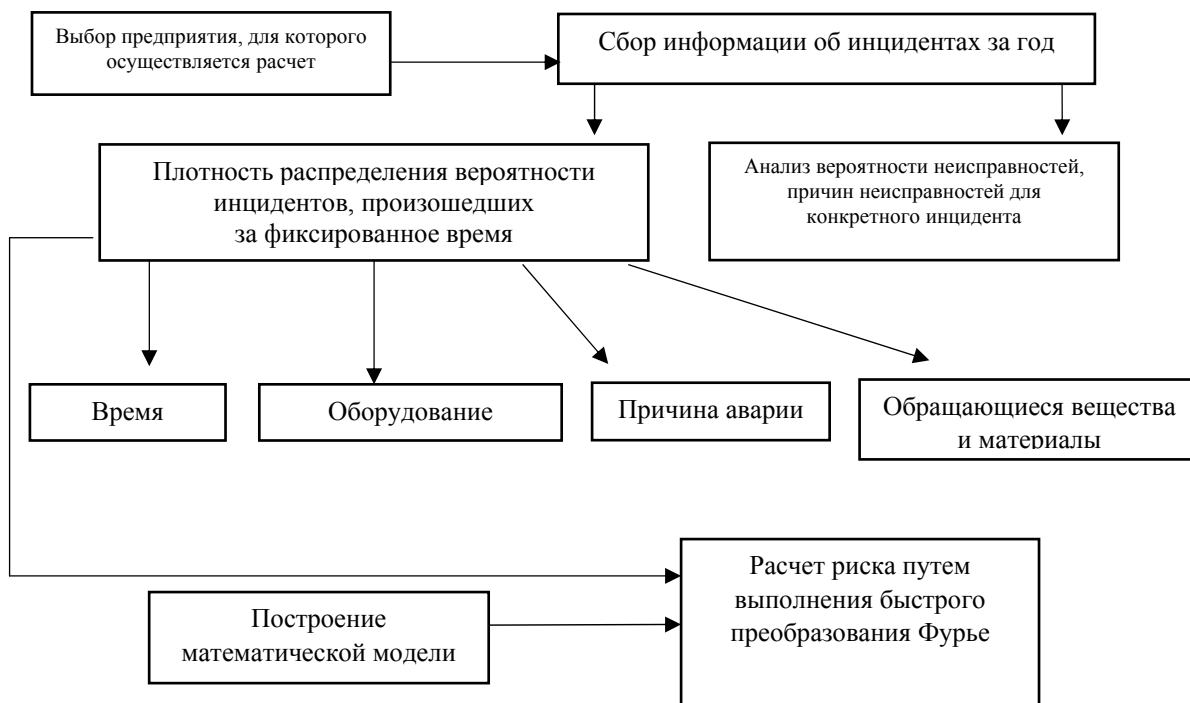


Рис. 1. Алгоритм расчета пожарного риска на нефтеперерабатывающем предприятии с использованием быстрого преобразования Фурье

Важно отметить, что в данном методе используется преобразование Фурье, которое, в свою очередь, является мощным инструментом, применяемым в различных научных областях.

Процессы, возникающие под воздействием электрической, тепловой или световой энергии, описывают при помощи преобразования Фурье [5].

В данном случае преобразование Фурье используются для проведения сложных вычислений, необходимых для расчета пожарных рисков на предприятии нефтеперерабатывающей промышленности.

Используя динамический подход к оценке рисков, необходимо решить следующие задачи:

- описать все возможные варианты развития событий, соответствующие риску, возможные случайные события, исходы, принятия решений;
- определить вероятности каждого из этих случайных событий.

Суть подхода, заключается в выполнении последовательности этапов, представленных на рис. 2.



Рис. 2. Этапы динамического подхода к оценке рисков

Метод экспертных оценок Делфи является разновидностью экспертных методов. Основными характеристиками метода являются его анонимность и управляемость [6].

Анонимность заключается в обеспечении физического разделения экспертов, что исключает их возможность обсуждать ответы. Цель такого разделения – избежать принятия группового решения. Доминирование лидера здесь исключается. После обработки результата обобщенный результат сообщается всем экспертам. С помощью обобщенного результата всем членам комиссии предоставляется возможность ознакомиться с мнениями других членов комиссии, не подвергаясь давлению. После этого оценка может быть повторена. В данном случае метод экспертных оценок Делфи используется для оценки допустимости риска, оценивается его опасность. На рис. 3 представлен алгоритм оценки рисков экспертами.

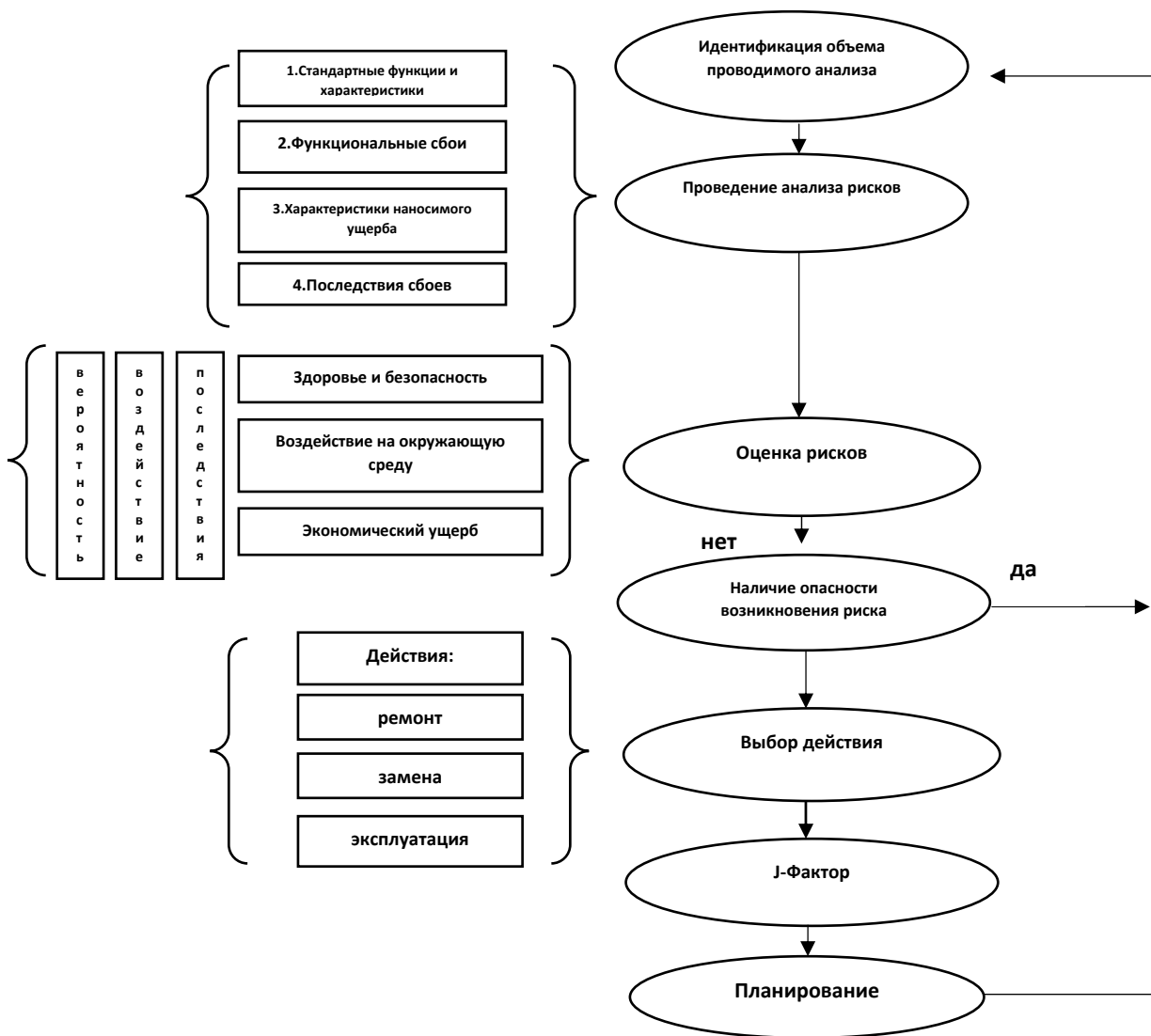


Рис. 3. Алгоритм оценки пожарных рисков методом экспертных оценок

На первоначальном этапе необходимо провести идентификацию объемов проводимого анализа, после чего в зависимости от определенных параметров определить опасность возникновения риска на предприятии, если такая опасность существует, то следует переходить к дальнейшим действиям в зависимости от ситуации и от разновидности риска, если же опасности нет, то происходит возврат на начальный уровень.

При использовании метода Байесовских сетей для оценки рисков на нефтеперерабатывающих предприятиях применяется следующий подход – моделируется сеть, состоящая из событий, связанных между собой.

Байесовские сети позволяют вычислить вероятность происхождения события C , известного априори, которое может произойти с какой-либо гипотезой S_1, S_2, \dots, S_n . В таком случае можно представить событие C как объединение событий CS_1, CS_2, \dots, CS_n , то есть $C = CS_1 + CS_2 + \dots + CS_n$, а вероятность события C выражается при помощи формулы:

$$P(C) = \sum_{i=1}^n P(S_i) * P(C/S_i)$$

Вероятность события S_i в предположении, что событие C уже имеет место, определяется по Формуле Байеса:

$$P(S_i/C) = P(CS_i) / P(C) = (P(S_i) * P(C/S_i)) / (\sum_{i=1}^n P(S_i) * P(C/S_i))$$

где $i=1, 2, \dots, n$.

Формула Байеса позволяет определить вероятность события A при определенных условиях. К таким условиям относятся события, взаимосвязанные с событием A . С помощью формулы Байеса можно пересчитать вероятность, взяв в расчет как ранее известную (априорную) информацию, так и новые данные [7].

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) и Международная организация труда (МОТ) совместно разработали схему проведения оценки опасности (ВОЗ, 1984 г. – Трехступенчатую систему оценки пожарного риска на нефтеперерабатывающем предприятии) [8].

Схема заключается в выполнении трехступенчатой процедуры, представленной на рис. 4.

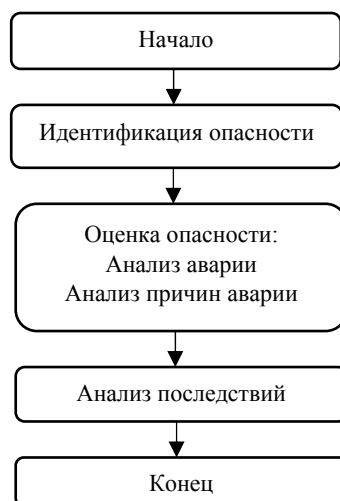


Рис. 4. Трехступенчатая процедура оценки рисков

Идентификация опасности – выявляется и оценивается потенциальная опасность с учетом параметров предприятия. На этом шаге анализ опасности и работоспособности осуществляется при помощи метода HAZOP (Hazard and Operability Study – признанный специалистами, структурированный, основанный на командной работе метод идентификации опасностей при эксплуатации существующих и при проектировании новых объектов).

Оценка опасности – на данном этапе осуществляется анализ аварии (пожара, взрыва) и анализ причин произошедшей аварии, для оценки потенциального урона используются стандартные математические выражения.

Последний шаг – анализ последствий включает в себя количественную оценку риска. На данном этапе производится оценка последствий аварии в сравнении с аналогичными авариями, произошедшими ранее.

Каждый метод, представленный в данной работе, имеет свои достоинства и недостатки. Метод расчета пожарного риска для нефтеперерабатывающего предприятия, с использованием быстрого преобразования Фурье, является самым трудоемким в применении из всех представленных методов, так как включает в себя построение математической модели, использование преобразования Фурье, которое применяется для оценки динамических процессов, происходящих на предприятии. Данный метод используется при наличии точных данных о предприятии.

Динамический подход к оценке пожарных рисков применяется при необходимости разработки сценариев возможных аварий на предприятии, не касаясь расчета пожарного риска.

Метод экспертных оценок применяется для оценки пожарных рисков на нефтеперерабатывающем предприятии при помощи обсуждения мнений экспертов. Данный метод хорош тем, что он гарантирует минимизацию психологической зависимости, а также проводится в несколько раундов, обеспечивающих выбор эффективного решения.

Метод расчета пожарного риска для нефтехимической компании при помощи Байесовских сетей позволяет определить вероятность наступления какого-либо события, принимая во внимание все условия. Основные достоинства метода заключаются в его простоте и точности.

Трехступенчатая система оценки пожарного риска на нефтеперерабатывающем предприятии, разработанная ВОЗ и МОТ, необходима для первоначальной систематизации данных о предприятии, на основе которых будет производиться расчет вероятности возникновения пожарных рисков с применением основных формул по расчету пожарного риска.

В Российской Федерации применяется специальный метод построения логического дерева событий, который позволяет определить развитие возможных пожароопасных ситуаций и пожаров, возникающих вследствие реализации событий, инициирующих пожароопасную ситуацию.

Основные положения метода построения логического дерева событий закреплены в действующем Приказе МЧС РФ от 10 июля 2009 г. № 404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах».

Построение дерева событий начинается с исследования развития пожароопасной ситуации с момента возникновения первоначального события с последующим рассмотрением цепи событий. На рис. 5 представлен порядок построения логического дерева событий.

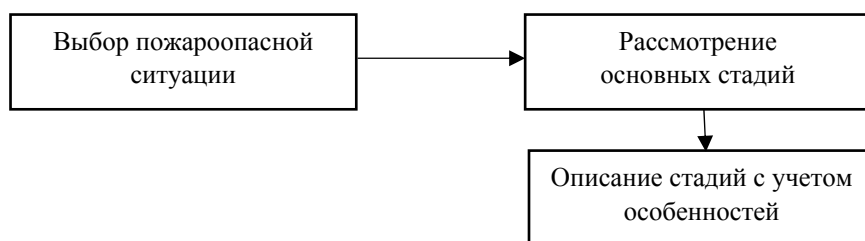


Рис. 5. Логическое дерево событий

При анализе логических деревьев событий руководствуются следующими положениями:

1. От длины и пути развития пожароопасной ситуации зависит возможность предотвращения дальнейшего развития пожароопасной ситуации и пожара.

2. Следует принимать во внимание свойства поступающих горючих веществ, при определении условных вероятностей реализации различных сценариев.

Представленные методы могут применяться для оценки пожарных рисков, возникающих на предприятиях нефтеперерабатывающей промышленности, для определения наличия опасности возникновения рисков, определения вероятности возникновения отказов, приводящих к возникновению аварийных ситуаций на объекте.

При этом важно учитывать, что рассмотренные методы требуют доработки и модификации с учетом конкретного объекта, в связи с технологическими особенностями и особенностями месторасположения предприятия.

Литература

1. Крутолапов А.С., Чернодедов А.С. Моделирование процессов горения торфа в условиях добычи и транспортировки нефтепродуктов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2014. № 1 (29). С. 99–105.
2. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов / А.Ф. Шароварников [и др.]. М.: Изд. дом «Калан», 2002. С. 318–350.
3. Лебедева М.И., Богданов А.В., Колесников Ю.Ю. Аналитический обзор статистики по опасным событиям на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. 2013. С. 1–8.
4. Годовые отчёты о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. URL: http://www.gosnadzor.ru/osnovnaya_deyatelnost_slujby/otcheti-o-deyatelnosti-sluzhbi-godovie (дата обращения: 20.01.2017).
5. Meel A., O'Neill L.M., Levin J.H., Seider W.D. Operational risk assessment of chemical industries by exploiting accident databases // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2007. p. 113–127.
6. Bertolini M., Bevilacqua M., Ciarapica F.E., Giacchetta G. Development of Risk-Based Inspection and Maintenance procedures for an oil refinery // Journal of Loss Prevention in the Process Industries 22. 2009. p. 244–253.
7. Kalantarnia M., Khan F., Hawboldt K. Modelling of BP Texas City refinery accident using dynamic risk assessment approach // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2010. p. 191–199.
8. Faisal I. Khan, S. Abbasi A. Techniques and methodologies for risk analysis in chemical process industries // Journal Process Safety and Environmental Protection 11. 2011. p. 261–277.

References

1. Krutolapov A.S., Chernodedov A.S. Modelling of processes of burning peat in terms of oil production and transportation // Problems of risk management in the technosphere. 2014. № 1 (29). p. 99–105.
2. Sharovarnikov A.F., Molchanov, V.P. Vosvodin S.S., Sharovarnikov S.A. Extinguishing fires of oil and petroleum products. M.: Publishing by «Kalan», 2002. p. 318–350.
3. Lebedev M.I., Bogdanov A.V., Kolesnikov J.J. Analytical review of statistics of the hazardous events on the objects of oil refining and petrochemical industries. 2013. p.1–8.
4. Annual reports of the activities of Federal Service for Ecological, Technological and Nuclear Supervision. URL: http://www.gosnadzor.ru/osnovnaya_deyatelnost_slujby/otcheti-o-deyatelnosti-sluzhbi-godovie
5. Meel A., O'Neill L.M., Levin J.H., Seider W.D. Operational risk assessment of chemical industries by exploiting accident databases // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2007. p. 113–127.
6. Bertolini M., Bevilacqua M., Ciarapica F.E., Giacchetta G. Development of Risk-Based Inspection and Maintenance procedures for an oil refinery // Journal of Loss Prevention in the Process Industries 22. 2009. p. 244–253.
7. Kalantarnia M., Khan F., Hawboldt K. Modelling of BP Texas City refinery accident using dynamic risk assessment approach // Journal Process Safety and Environmental Protection 8 8. 2010. p. 191–199.
8. Faisal I. Khan, S. Abbasi A. Techniques and methodologies for risk analysis in chemical process industries // Journal Process Safety and Environmental Protection 11. 2011. p. 261–277.