

УДК 621.642.88

РАЗВИТИЕ МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ ОЦЕНКИ РИСКА ЧС В РЕЗЕРВУАРНЫХ ПАРКАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

**Аксенов С.Г., Елизарьев А.Н., Манякова Г.М., Габдулхаков Р.Р.,
Кияшко Л.Ю., Акшенцев В.В.**

*ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет»,
Уфа, e-mail: gulnara-333@mail.ru*

Проведен анализ аварийности на объектах нефтепродуктообеспечения. Построена модель резервуарного парка. На основе метода экспертных оценок построен взвешенный оргграф, показывающий влияние различных компонентов на резервуары. Проанализированы особенности применения методов системного анализа для оценки риска возникновения чрезвычайной ситуации в резервуарных парках. Предложены подходы к развитию методических основ оценки вероятности возникновения эффекта BLEVE по ГОСТу Р 12.3.047-2012 на основе геометрического определения вероятности, оценки пределов огнестойкости материала резервуара и давления, возникающего внутри резервуара, а также времени воздействия теплового потока на резервуар, которые учитывают многие факторы: конструктивные особенности резервуаров и нефтебаз, технологические особенности обеспечения безопасности. На основе предложенных методов разработан алгоритм оценки возможности возникновения эффекта BLEVE.

Ключевые слова: резервуарный парк, объект нефтепродуктообеспечения, оценка риска, методы системного анализа, эффект BLEVE

DEVELOPMENT OF METHODOLOGICAL BASES OF THE EMERGENCY RISK ASSESSMENT IN RESERVOIR PARKS WITH USE OF THE ANALYSIS SYSTEM METHODS

**Aksenov S.G., Elizarev A.N., Manyakova G.M., Gabdulkhakov R.R.,
Kiiashko L.Y., Akshentsev V.V.**

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, e-mail: gulnara-333@mail.ru

There was an analysis of accident rate on objects of oil products supply that was carried out. The model of reservoir park was developed. Based on method of expert evaluations, the weighed orgraph showing influence of various components on tanks got constructed. Different methods of the system analysis for an assessment of risk and emergence of an emergency situation in reservoir parks were analyzed. After, the approaches to development of methodical bases of an assessment of probability of emergence of effect of BLEVE were offered in accordance with GOST P 12.3.047-2012 and geometrical definition of probability. Based on an assessment of limits of fire resistance of material of the tank and pressure arising in the tank, the time of influenced a thermal stream for the tank, which consider many factors: design features of tanks and oil depots, technological features of safety. On the basis of the offered methods the algorithm of an assessment of possibility of effect of BLEVE is developed.

Keywords: reservoir park, objects of oil products supply, risk assessment, methods of the system analysis, effect BLEVE

Развитие нефтяной промышленности диктует жёсткие условия обеспечения комплексной безопасности объектов с целью защиты как коммерческих интересов, так и населения и территорий. Особую актуальность обеспечение безопасности приобретает сегодня из-за критического сближения опасных производственных объектов с территорией активной жизнедеятельности населения.

В этой связи анализ рисков возникновения ЧС необходим для обоснованного выбора методов предупреждения неблагоприятных последствий воздействия опасностей на объекты. На сегодняшний день не развита единая методологическая база по оценке риска возникновения ЧС, слабо

развиты методические основы учета вариативности последствий ЧС в резервуарных парках, в том числе эффекта домино и эффекта BLEVE. В этой связи необходимо развитие методических основ прогноза риска ЧС в резервуарных парках.

Первые разработки в оценке риска (на основе дерева отказов), появились в 60 годы прошлого столетия. В последующие 10 лет начали применять методы анализа причин и последствий. Широкого развития и использования достигли множество методов системного анализа для оценки безопасности объекта экономики, такие как дерево отказов, дерево событий, сети GERT, моделирование на основе оргграфов и другие [3, 6, 7, 9].

При выборе метода анализа риска точность и адекватность оценки зависят от этапа функционирования рассматриваемого объекта, цели анализа, типа производственного объекта, характера опасности и т.п. Владение необходимой информацией является важным условием проведения оценки риска [3]. Оценка риска возникновения чрезвычайной ситуации в резервуарных парках включает анализ и обработку статистических данных об аварийности на объектах хранения нефтепродуктов на основе годовых отчетов о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в период с 2005 по 2015 г. и прочих информационных ресурсов. Анализ литературных источников показал, что в среднем вероятность возникновения аварии на объектах нефтепродуктообеспечения составляет $3,6 \times 10^{-3}$ год⁻¹ [2].

На основе всей совокупности методов можно представить резервуарный парк как систему, состоящую из различных взаимосвязанных элементов, обладающих различными свойствами (рис. 1).

Анализ резервуарного парка как системы предполагает анализ взаимосвязей его отдельных элементов. Поэтому целесообразно использовать метод анализа на основе орграфов. Для резервуарного парка с помощью взвешенных орграфов можно определить влияние различных компонентов системы на резервуары, приводящие к ЧС (разрушающее действие). На рис. 2 представлен взвешенный орграф для резервуарного парка. Весовые значения влияния внешних и внутренних факторов, приводящих к разрушению резервуара с нефтепродуктом, получены методом экспертных оценок (20 экспертов, среднее значение). Анализ орграфа позволяет выявить как метод взвешенных орграфов также используется при анализе загрязнения окружающей среды. Так, в работе [8] представлен взвешенный орграф, описывающий экологическую ситуацию в городе, который позволяет определить степень влияния различных факторов на уровень загрязнения города.

При решении как экологических, так и техногенных задач установить основные причины и определить вероятность возникновения аварии можно, используя метод построения дерева отказов, который нашел наибольшую применимость при оценке риска.

Метод дерева отказов широко используется при анализе риска возникновения ЧС на опасных производственных объектах, при выявлении причин выхода из строя технического оборудования. Так, в работе [1] данный метод используется для выявления причин отказа технологического оборудования, применяемого на нефтеперерабатывающих и нефтехимических производствах.

При анализе риска возникновения ЧС помимо причин особое значение имеет оценка последствий. Анализ литературных источников показал, что наиболее эффективным методом является дерево событий, представляющее собой схему причинно-следственных закономерностей возникновения и развития аварий. В работе [4] приведено дерево событий для определения последовательности и сочетания различных событий, возникающих в результате разлива бензина на проезжую часть.

С помощью дерева событий можно определить вариацию развития пролива при прохождении ливневых осадков с низкой вероятностью воспламенения, (с преимущественной угрозой загрязнения литосферы и гидросферы) и без осадков (с высокой вероятностью образования пожара пролива). Важным этапом прогноза является учет возможности возникновения эффекта BLEVE – как элемента наиболее опасного развития сценария ЧС в резервуарном парке.



Рис. 1. Модель системы «Резервуарный парк»

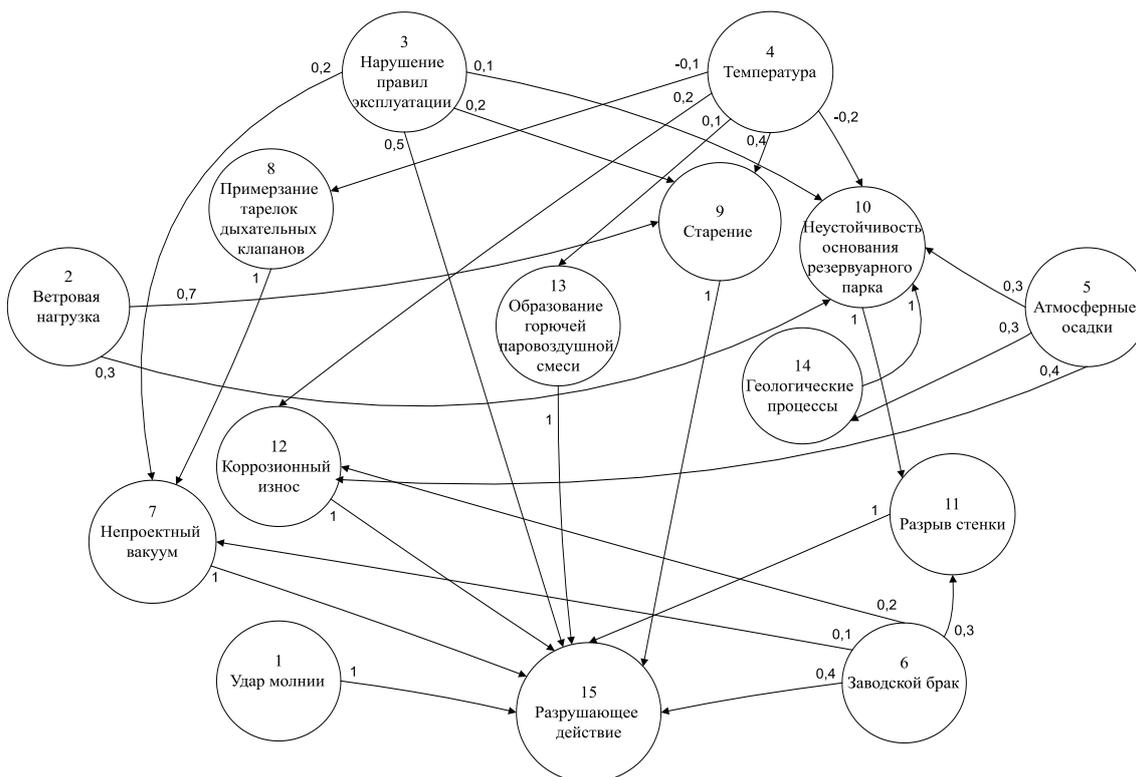


Рис. 2. Взвешенный орграф для резервуарного парка

В то же время методическая основа оценки возможности эффекта BLEVE находится на начальном этапе. Как показал анализ исследований в данной области, при оценке возможности возникновения эффекта BLEVE применяют несколько методов.

Широкое использование нашла методика оценки BLEVE согласно ГОСТу Р 12.3.047-2012, в которой рассчитывают показатель δ , характеризующий возможность возникновения волн сжатия и зависящий от свойств хранящегося вещества и технологических особенностей предохранительных клапанов. Если $\delta < 0,35$, BLEVE не происходит. При $\delta > 0,35$ вероятность возникновения данного явления велика.

В то же время при расчете показателя δ не учитывается вероятность попадания резервуара в зону пожара пролива (принимается условно, что резервуар находится в зоне воздействия теплового излучения). В этом случае можно использовать вероятностный метод, который основан на представлении процессов и явлений как случайных событий [5]. Тогда для вероятностной оценки устойчивости резервуаров возможно использование подхода по оценке геометрической вероятности в условиях равновероятного проявления эффекта BLEVE на

территории объекта. Здесь важное значение приобретает установление границ объектов, рассматриваемых при оценке.

При установлении границ площади территории, которая будет находиться в зоне действия теплового излучения пожара, необходимо учесть неравномерность пространственного распределения температуры и интенсивности. Также необходимо определить границы основания резервуаров. При расположении резервуара или нескольких резервуаров в обваловании площадь границ пожара пролива может быть равна площади обвалования. Тогда вероятность возникновения эффекта BLEVE будет определяться по формуле

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n S_{\text{осн.рез}}}{S_{\text{рассм.тер}}} \cdot \frac{S_{\text{пож.прол}}}{S_{\text{рассм.тер}}}, \quad (1)$$

где n – количество резервуаров на рассматриваемой территории (территория, объединенная особенностями рельефа местности или единым обвалованием, шт. резервуаров; $S_{\text{осн.рез}}$ – площадь основания резервуара, м^2 ; $S_{\text{рассм.тер}}$ – площадь рассматриваемой территории, м^2 ; $S_{\text{пож.прол}}$ – площадь пожара пролива, м^2 .

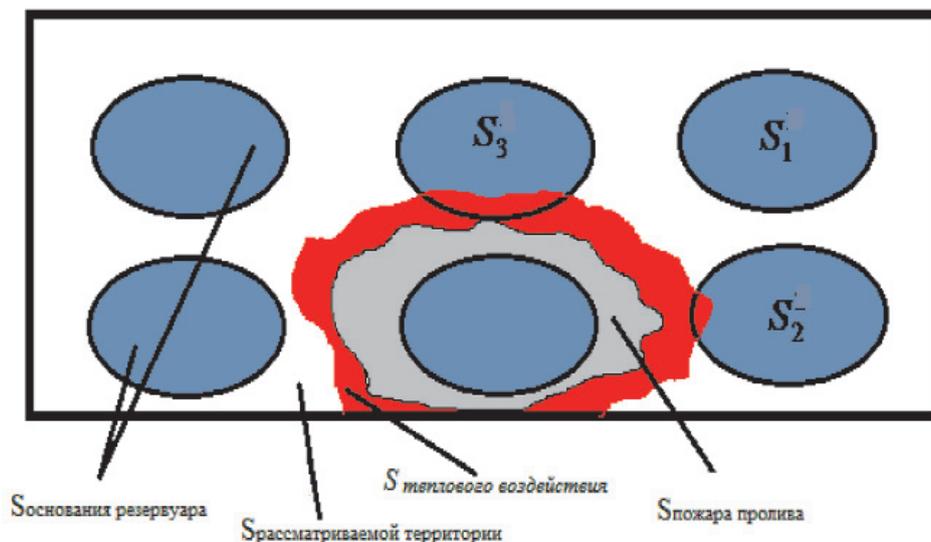


Рис. 3. Расчётная схема оценки вероятности образования эффекта BLEVE в резервуарном парке

Расчётная схема для определения площадей представлена на рис. 3.

Полученное значение вероятности при анализе риска может быть использовано как значение одного из звеньев «дерева отказов» либо как вероятность инициирующего события в «дереве событий», либо как вероятностная составляющая значения риска. В то же время такой подход не учитывает конструктивные особенности резервуаров и интенсивность теплового излучения пожара пролива.

Конструктивные особенности частично можно учесть исходя из оценки пределов огнестойкости материала резервуара и давления, возникающего внутри него. На основании прогноза обстановки рассчитывается предел огнестойкости для резервуаров, находящихся в зоне действия пожара, и определяется возможность разгерметизации резервуара в зависимости от величины интенсивности теплового излучения, температуры и времени их воздействия, с учетом материала, из которого сделан резервуар. Температура на поверхности резервуара определяется на основании закона излучения, по формуле

$$T = \sqrt[4]{\frac{E}{\sigma \cdot A_m}} - 273 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (2)$$

где E – энергия передаваемая поверхности при пожаре пролива, Вт/м²; σ – постоянная Стефана – Больцмана, равна $5.67 \cdot 10^{-8}$ Вт/м²К⁴; A_m – степень черноты, при горении нефтепродуктов допускается принимать 0,9.

Энергия, передаваемая поверхности при пожаре пролива, определяется как интенсивность теплового излучения. Если условно предположить, что давление в резервуаре подчиняется уравнению Менделеева – Клапейрона, то его величину можно определить по формуле

$$P_2 = \frac{P_1 \cdot T_2}{T_1}, \quad (3)$$

где P_1 – атмосферное давление, кПа; T_1 – температура окружающей среды, °С; T_2 – температура после нагрева, составляет, °С:

С учетом условия прочности по гипотезе О. Мора максимальное давление в резервуаре равно

$$p = \frac{[\sigma_p] \cdot 2t}{d}, \quad (4)$$

где d – диаметр резервуара, м; t – толщина стенки резервуара, равна м; $[\sigma_p]$ – допустимое напряжение на растяжение, МПа.

Если рассчитанное давление превышает допустимое значение, происходит разрушение резервуара и существует вероятность возникновения эффекта BLEVE.

Поскольку поведение паров нефтепродуктов сложно сравнить с поведением идеального газа, описываемым уравнением Менделеева – Клапейрона, то возможность возникновения эффекта BLEVE можно оценить, сопоставив время достижения нефтепродуктом внутри резервуара температуры кипения и время воздействия теплового потока на резервуар с учетом интенсивности теплового излучения.

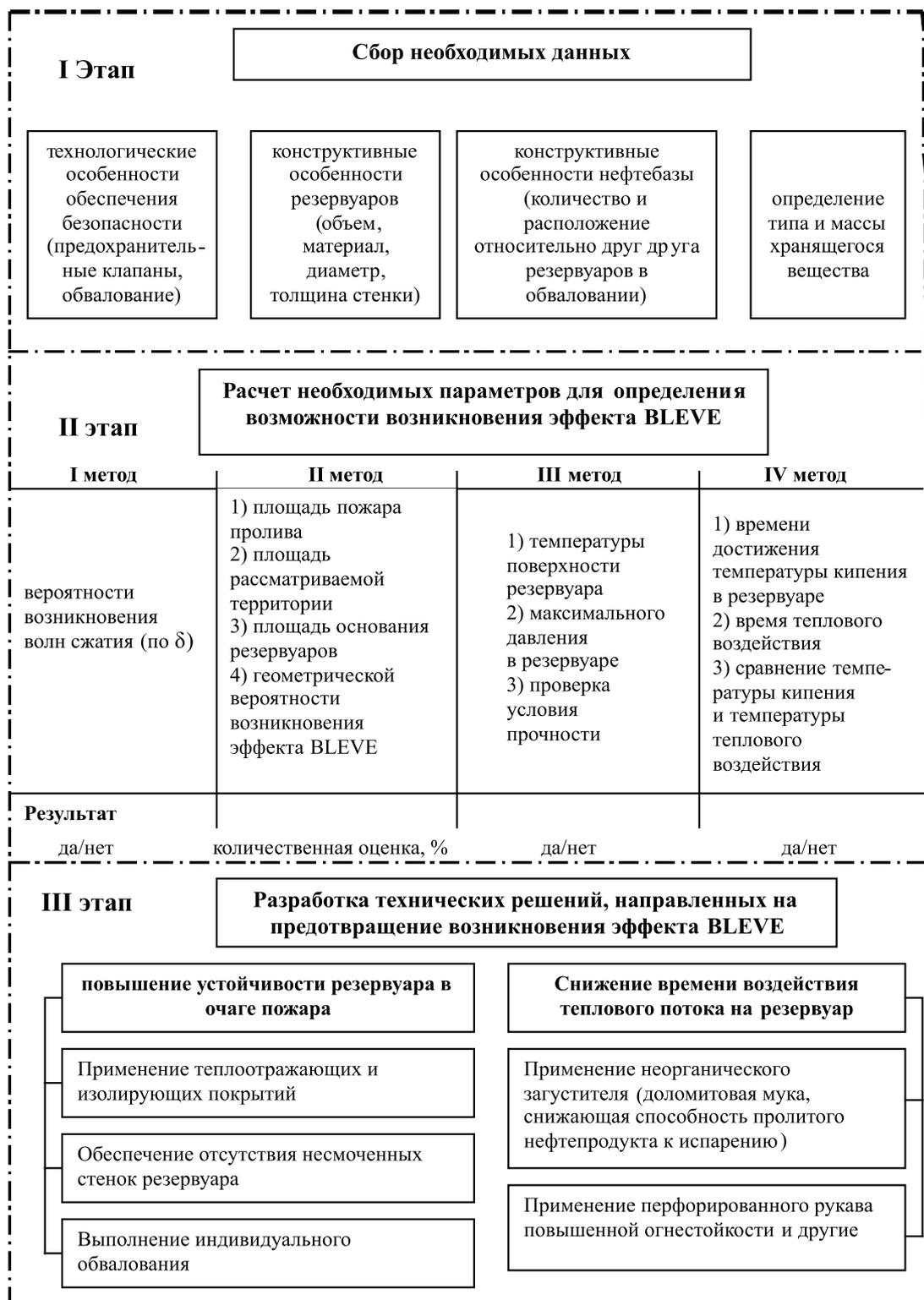


Рис. 4. Алгоритм оценки возможности возникновения эффекта BLEVE

Для оценки продолжительности нагрева нефтепродукта в резервуаре необходимо рассчитать количество энергии, затрачиваемой на приращение температуры нефтепро-

дукта до значения кипения. Оценка времени нагрева содержимого резервуара до температуры кипения проводится на основании расчётного значения интенсивности тепло-

вого излучения с учётом площади поглощающей поверхности резервуара:

$$t_{\text{кип}} = \frac{mc\Delta t}{qS}, \quad (5)$$

где q – интенсивность теплового излучения, воздействующая на резервуар, Вт/м²; m_1 – количество нефтепродукта в резервуаре, кг; Δt – изменение температуры, °С.

Если время достижения нефтепродуктом температуры кипения меньше времени воздействия теплового излучения пожара, то существует вероятность возникновения эффекта BLEVE.

Таким образом, обоснованный выбор подходов к оценке вероятности возникновения эффекта BLEVE можно представить в виде алгоритма (рис. 4).

Таким образом, существующие методы системного анализа и алгоритмы принятия решений позволяют учесть многие факторы влияния, визуально отобразить взаимосвязь причин и вариацию последствий различных ЧС, что повысит своевременность реагирования на изменение состояния безопасности. При анализе возможности возникновения эффекта BLEVE необходимо применение обоснованного выбора метода и/или нескольких методов оценки комплексного учета всех факторов влияния.

Список литературы

1. Богданов В.С., Буренин В.А., Токарев Д.В. Анализ опасностей нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств методом построения «деревьев отказов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2002. – № 2. – С. 9–18.
2. Годовой отчет о деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2014 году.
3. Дёмин В.Ф. Научно-методические аспекты риска // Атомная энергия. – 1999. – № 1. – С. 67–75.
4. Екимов В.К. Системные характеристики технических средств, обеспечивающих безопасность эксплуатации автодорожных развязок тоннельного типа // Технологии гражданской безопасности. – 2006. – № 3. – С. 129–134.
5. Елизарьев А.Н., Габдулхаков Р.Р., Ахтямов Р.Г. Методика оперативной оценки риска возникновения чрезвычайной ситуации на объектах нефтепродуктообеспечения в зоне проявления карстовых процессов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2012. – № 2. – С. 15–23.
6. Касьяненко А.А., Михайличенко К.Ю. Анализ риска аварий техногенных систем: – М.: Изд-во РУДН, 2008. – 182 с.
7. Перегудов Ф.И. Введение в системный анализ: учебное пособие для вузов / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко. – М.: Высшая школа, 1989. – 367 с.
8. Санжапов Б.Х., Кузнецова Т.В. Анализ экологической безопасности городской среды на основе использования потенциальных нечетких отношений // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительная информатика. – 2014. – № 1. – С. 24–32.
9. Системный анализ и моделирование процессов в техносфере: учеб. пособие / В.В. Анисимов, И.П. Степанова. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КнАГТУ». 2006. – 160 с.
10. Юрьева Е. А. Количественный метод оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазового комплекса // Ученые записки РГСУ. – 2009. – № 5. – С. 93–98.