

УДК 658.588.1

*В.Р. Амиров, руководитель направления по технологии, наземной инфраструктуре и обустройству ПО «СеверЭнергия», ООО «Газпромнефть-Развитие»; И.С. Сивоконь, советник генерального директора, ООО «Трансэнергострой»*

# Управление целостностью объектов инфраструктуры месторождений нефти и газа. Приоритизация и управление рисками нарушения целостности объектов подготовки и перекачки нефти, утилизации попутного газа и систем поддержания пластового давления на нефтяных месторождениях

Статья продолжает серию публикаций, начатую в № 9, 10, 11, 12 журнала «Территория «НЕФТЕГАЗ» за 2013 г. В предыдущих статьях были изложены этапы жизненного цикла инфраструктуры месторождений нефти и газа, даны определения управления целостностью объектов, норматива затрат и ключевых показателей эффективности данного процесса. На примере трубопроводной инфраструктуры показана возможность идентификации, оценки и приоритизации рисков.

Однако подходы к управлению целостностью и повышению уровня промышленной безопасности сложных инфраструктурных объектов обустройства, таких как установки подготовки и перекачки нефти, системы поддержания пластового давления, сбора и утилизации попутного газа и т.п., усложняются по сравнению с рассмотренными однотипными объектами.

В настоящей работе изложен положительный опыт рискориентированного управления целостностью для сложных объектов, показана возможность приоритизации рисков с применением барьерной системы. Изложены подходы к решению проблемы рискориентированного управления целостностью опасных производственных объектов для всего актива/месторождения, включая и однотипные объекты с низкой взаимозависимостью, и сложные объекты. Показано, что важнейшим инструментом для УЦ актива является единая матрица рисков, в которую включены оценка вероятности и последствий не только нарушения целостности в качестве рискообразующего события, но и риски в областях ОТ, ПБ и ООС.

Для менеджеров и инженеров-нефтяников, занимающихся проектированием и эксплуатацией наземных нефтегазопромысловых и других инфраструктурных объектов, специалистов в области оценки рисков, промышленной безопасности и охраны окружающей среды, технико-экономической оценки активов.

**Ключевые слова:** риск, приоритизация риска, сложный объект, барьер, матрица рисков.

**ВВЕДЕНИЕ**

В предыдущей статье авторов [1] управление целостностью (УЦ) объектов нефтегазовой инфраструктуры рассматривалось в применении к отдельным видам оборудования или однотипных объектов.

Этот подход затруднительно использовать для объектов, состоящих из разнотипного оборудования, работающего в едином технологическом комплексе (далее – сложных объектов), т.к. необходимо оценивать риски нарушения целостности (далее – риски) оборудования, входящего в состав сложного объекта, и формировать из них интегральную оценку риска. Определяя такой объект, мы исходим из того, что он состоит из набора разнотипного оборудования и на нем имеется внутренне цельная инструкция по эксплуатации (технологический регламент). Под внутренней цельностью понимается:

- непротиворечивость пунктов этой инструкции. Например, если принят «ручной» способ регулирования, то он учитывает все особенности этого способа (время реагирования на поступивший сигнал, время исполнения операции и т.п.);
- полнота охвата действий персонала. Например, в инструкции должны быть учтены все последствия действий операторов и автоматики по всем возможным интерфейсам объекта.

При оценке риска сложного объекта необходимо учесть, что частично или полностью оборудование, входящее в его состав, имеет резерв, который может быть оперативно запущен в работу при нарушении его целостности. Резервирование снижает риск, так как обеспечивает минимизацию последствий нарушений целостности в части ущерба для производства. Кроме того, резервирование обеспечивает возможность проведения полноценных работ по ТО, диагностике, ремонту и защите от коррозии на технологическом оборудовании и тем самым создает предпосылки для снижения вероятности нарушений целостности.

В общем случае на сложном объекте задача мониторинга и управления рискомкратно усложняется, т.к. кроме собственно риска отдельных видов



оборудования необходимо учитывать комплексный риск их взаимодействия. Стандартной практикой оценки рисков на сложных объектах является многофакторный анализ, при котором принятие решения по снижению риска аварии осуществляется в три этапа [2]:

- 1) выявление факторов опасности;
- 2) определение риска по каждому сценарию развития аварии;
- 3) определение набора мероприятий по снижению риска.

Подход к оценке рисков в [2], по сути, представляет собой Cause and consequence analysis (CCA) [3], в рамках которого проводится анализ причин и последствий негативных событий на критичных с точки зрения безопасности объектах. У CCA имеется более простая версия – Bow tie analysis, использующая методику проведения мозгового штурма и применяющая методологию определения барьеров на пути от причин вероятного негативного события к его последствиям. Принципы единого подхода к методологии по анализу видов и критичности отказов изложены в ГОСТ 27.310-95 [4].

Методологии идентификации и оценки в [2–4], включая упрощенный вариант CCA – Bow tie analysis, тем не менее достаточно трудоемки, требуют наличия группы квалифицированных экспертов и специалистов с компетенциями в области оценки рисков. В случаях, когда, например, для целей УЦ в рамках крупной компании необходимо оценить риски для сотен объектов подготовки и перекачки нефти, утилизации попутного газа и систем поддержания пластового давления или же оперативно выявить риски на одном или нескольких объектах в рамках одного актива, применять вышеуказанные методологии не всегда возможно по экономическим и организационным причинам. Поэтому для сложных, но типовых по функциям и набору стандартного оборудования объектов необходим упрощенный, аналогично [1], вариант методологии оценки рисков, который не требует привлечения экспертов и узких специалистов по оценке рисков, с одной стороны, а с другой – в качестве исходных данных для оценки рисков использует стандартную отчетность и техническую документацию.

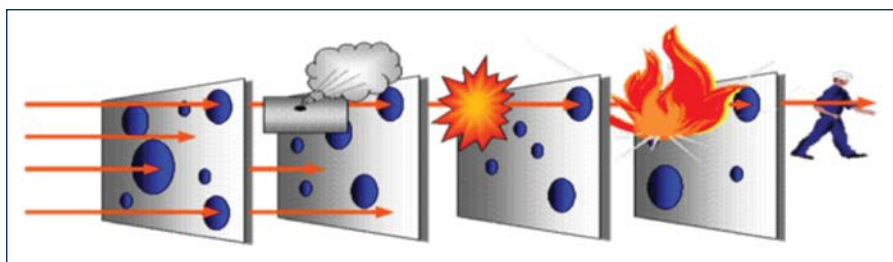


Рис. 1. Барьеры на пути реализации рисков по причине нарушения целостности объектов

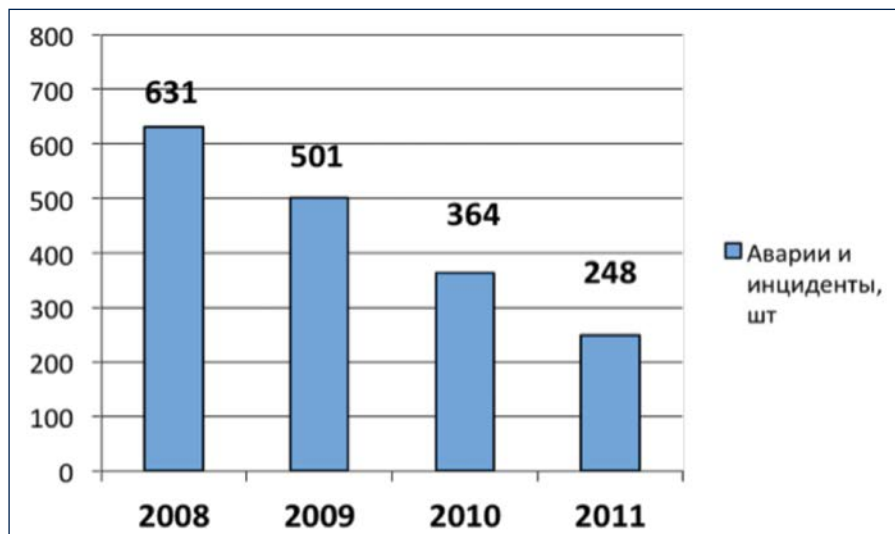


Рис. 2. Количество реализовавшихся рисков нарушения целостности (аварии и инциденты) на объектах ППН и ППД БН Рид ТНК-ВР в 2008–2011 гг.

## БАРЬЕРЫ

Важными особенностями УЦ сложного объекта являются как каскадное развитие нарушения целостности, когда нарушение целостности отдельного оборудования является причиной нарушения целостности другого оборудования, входящего в его состав, так и возможности снижения последствий развития реализованного риска на отдельном оборудовании, входящем в сложный объект. Целостность таких объектов определяется не только целостностью различных видов оборудования, входящих в его состав. Если какое-либо оборудование теряет целостность, то это необязательно приводит к потере целостности всего объекта. Препятствуют этому разнообразные барьеры на пути развития нежелательного события. Иллюстрацией развития негативного события – нарушения целостности – в аварию и барьеров на ее пути увеличения последствий может служить изображение (рис. 1.) цепи событий, последовавших за утечкой углеводородов, например, из технологического трубопровода или сосуда по давлению: 1-е событие – не сработал барьер для защиты от воспламенения и появилось возгорание, 2-е событие – не сработал барьер по предотвращению пожаров, и мы видим большое открытое пламя, 3-е событие – ситуация в конечном итоге

разрешается благополучной эвакуацией персонала с горящего объекта.

На сложных объектах существует множество систем, обеспечивающих целостность и работоспособность объекта. Все системы могут быть отнесены к группам (барьерам) по тем признакам, как они влияют на возникновение нарушений целостности и их развитие в инциденты, аварии или катастрофы. Во-первых, при отклонении режима работы оборудования включаются в работу различные предохранительные и регулирующие устройства, возвращающие его в проектные рамки (т.е. снижается вероятность нежелательного события). Кроме того, периодически производится диагностика оборудования, по результатам которой планируются замена комплектующих, ремонт или изменяется технологический режим работы оборудования. Назовем этот барьер «Предупреждение».

Во-вторых, когда целостность какого-либо оборудования уже нарушена, для снижения последствий (ущерба) этого нарушения организуется мониторинг развития этих последствий (средством анализаторов состояния воздушной среды, видеонаблюдения, датчиков пожарообнаружения и т.п.). Этот барьер называется «Обнаружение и контроль». В-третьих, для снижения последствий нежелательного события на объекте

организована система реагирования на эти последствия. Эта система включает в себя как организационную составляющую (ПЛВА\* и т.п.), так и технические средства (стационарные и мобильные системы пожаротушения и т.п.). Этот барьер можно определить как «Снижение воздействия».

В-четвертых, для снижения катастрофических последствий нежелательного события на объекте разрабатываются и внедряются (в виде проверок знаний и периодических тренировок) планы эвакуации персонала и экстренной остановки и консервации оборудования, устранения последствий аварий, организуются качественные пути эвакуации. Четвертый барьер назовем «Эвакуация».

Таким образом, на сложном объекте имеется или может быть выстроена система на пути развития нарушения целостности в аварию, состоящая из:

- барьера 1 – «Предупреждение»;
- барьера 2 – «Обнаружение и контроль»;
- барьера 3 – «Снижение воздействия»;
- барьера 4 – «Эвакуация».

Наличие барьеров снижает как вероятность нарушения целостности сложного объекта, так и его последствий. И, наоборот, отсутствие одного или сразу нескольких барьеров увеличивает риск нарушения целостности сложного объекта. Вышеописанные барьеры № 1–4, по сути, являются стандартизацией и упрощением в рамках системы Bow tie analysis, которая как раз и заключается в том, что для каждого негативного события методом мозгового штурма выстраиваются барьеры, снижающие вероятность его наступления и тяжесть негативных последствий. В нашем случае мозговой штурм заменен стандартными барьерами, которые ВСЕГДА могут быть оценены на любом сложном объекте, и стандартным же негативным событием – нарушением целостности на какой-либо единице оборудования сложного объекта.

УЦ таких объектов помимо оценки риска нарушения целостности отдельных видов оборудования и управления ими должно включать и оценку состояния этих барьеров безопасности.

\* План ликвидации возможных аварий.

Оценка состояния барьеров безопасности (на примере установки подготовки нефти – УПН) представлена в виде таблицы.

Мероприятия по идентификации барьеров являются аналогом диагностики состояния оборудования, а мероприятия по формированию или восстановлению барьеров для сложных объектов – аналогом реконструкции и ремонта (см. [5]). Финансируются последние мероприятия из:

- капитальных затрат на реконструкцию, в случае если изначально объекты не оборудованы подобными системами;
- операционных затрат на УЦ для поддержания в работоспособном состоянии таких защитных систем.

Состояние барьеров на объекте в том определении, которое дано выше, отражает вероятность развития нарушений целостности на одной из единиц оборудования в аварию, т.е. чем больше отсутствует барьеров на объекте в целом и для каждой единицы оборудования либо состояние существующие барьеров неудовлетворительное, тем вероятность и, соответственно, риск выше. Таким образом, состояние барьеров безопасности на сложном объекте вместе с техническим состоянием однотипных объектов/оборудования, его составляющих, является аналогом вероятности нарушения целостности на однотипном объекте (см. [1]).

Это означает, что при одинаковом техническом состоянии объектов/оборудования, составляющих сложный объект, вероятность нарушения целостности этого объекта тем выше, чем меньше барьеров из группы Б1–Б3 реализовано на площадке объекта. Задача снижения вероятности нарушения целостности сложных объектов сводится, наряду со снижением вероятности нарушения целостности однотипных объектов (рассмотрено в [5]), его составляющих, к поддержанию или созданию барьеров группы Б1–Б3.

### ПОСЛЕДСТВИЯ НАРУШЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ

Другой важной особенностью сложных объектов является дифференциация последствий нарушения целостности по видам оборудования. Например, с



точки зрения последствий нарушения целостности отказ работы дозирочного насоса существенно менее опасен, чем разрыв или пожар на нефтяном резервуаре. Поэтому для целей приоритизации рисков необходимо провести ранжирование последствий нарушения целостности по отдельным видам оборудования. В представленной таблице ранги последствий по видам оборудования выделены цветом: «красный» – высокий уровень последствий, «желтый» – средний и «зеленый» – низкий. Это ранжирование носит экспертный характер, на конкретном объекте могут быть факторы, которые обуславливают другой характер ранжирования последствий.

Описанная качественная оценка последствий должна быть проведена в компании (холдинге) по единой для всех предприятий холдинга методике и согласована по всем ключевым направлениям (охрана труда, охрана окружающей среды, производственная и финансовая деятельность) для применения в целях УЦ.

### ПРИОРИТИЗАЦИЯ РИСКОВ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

На начальном этапе работы по УЦ сложных объектов их приоритизацию можно проводить только на основе наличия барьеров безопасности, без учета дифференциации последствий нарушения целостности по видам оборудования.

Такой подход был реализован в 2007–2012 гг. в компании ТНК-ВР, в частности на объектах нефтегазодобычи. Руководством компании была поставлена задача на объектах с четырьмя отсутствующими или дефектными барьерами – сначала восстановить один из четырех барьеров и таким образом устранить на всех объектах риски для жизни и здоровья персонала в случае аварий и инцидентов. Эта задача была обеспечена целевым финансированием и решена в течение одного года. Параллельно, также на основе целевого финансирования, велась работа по снижению количества объектов с тремя отсутствующими («красными») барьерами. Эта работа завершилась в 2012 г. Результат выполнения этой работы выразился в виде снижения количества аварий и инцидентов в соответствии с классификацией по [6] на объектах ППН и ППД (рис. 2).

В дальнейшем, когда на каждом объекте было не более двух дефектных или отсутствующих барьеров, команда, которая реализовывала проект, столкнулась с необходимостью более детальной и обоснованной оценки вероятности и последствий нарушения целостности сложных объектов. Это было вызвано необходимостью оптимального и эффективного финансирования мероприятий по УЦ, когда для целей управления рисками и определения приоритетов потребовалось оценивать и сравнивать риски не объектов в целом, а отдельных элементов и единиц оборудования на объектах. Иными словами, возникла задача сравнить, что более приоритетно с точки зрения УЦ: например, провести капитальный ремонт резервуара на объекте N или реконструировать систему автоматического пожаротушения на объекте M? Эта задача была только сформулирована. Здесь мы хотели обсудить возможные подходы к ее решению.

### ИДЕНТИФИКАЦИЯ, ОЦЕНКА И ПРИОРИТИЗАЦИЯ РИСКОВ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Ранее в [5] мы показали, что УЦ базируется на управлении рисками нарушения целостности. Кроме того, в [7] показана возможность оптимизации управления рисками и повышения экономической

Таблица. Оценка состояния барьеров безопасности (на примере установки подготовки нефти (УПН))

Типы оборудования по объекту	Состояние барьеров на оборудовании/системе			Максимальное кол-во отсутствующих барьеров Б1–3 на одной единице оборудования	Б4 (ПЛВА)
	Б1 (предупреждение)	Б2 (обнаружение и контроль)	Б3 (снижение последствий)		
РВС (технологические, товарные)	+	+	–	1	+
Печи-нагреватели нефти	+	–	+	1	+
Сосуды, работающие под давлением	+	–	–	2	+
Насосное оборудование	–	–	–	3	+
Компрессорное оборудование	+	+	+	0	+
Технологические трубопроводы	–	–	+	2	+
Факельная система	–	–	+	2	+
Здания и сооружения	–	–	–	3	+

эффективности при помощи нормирования затрат на УЦ. УЦ, повышение эффективности и нормирование затрат предполагают, что риски нарушения целостности определены с достаточной точностью.

Очевидно, чтобы иметь возможность оценки и сравнения рисков нарушения целостности, оцененных для разных объектов, шкалы вероятности и последствий должны быть одинаковой размерности (каждая – своей).

В самом деле, шкалы последствий различной природы – материального ущерба; вреда жизни и здоровью персонала, воздействия на окружающую среду – должны быть приведены к единой. Единая шкала по последствиям позволяет определить зоны приемлемых и неприемлемых рисков, оценить динамику рисков на активе, состоящем из разнородных объектов, и проводить все необходимое планирование мероприятий по УЦ.

Необходимость наличия единых шкал по оценке вероятности и последствий рисков равносильна требованию построить единую матрицу рисков, на которую можно нанести риск нарушения целостности любого объекта или единицы оборудования на активе. Отдельные ячейки в такой матрице будут соответствовать интервалам значений вероятности и последствий.

Примером такой единой матрицы рисков является матрица рисков компании BP [8], разработанная с учетом негативного опыта этой компании по результатам расследования крупной аварии на нефтепроводе на месторож-

дении Prudhoe Bay на Аляске и двух катастроф с жертвами и экологическим ущербом на нефтеперерабатывающем заводе Texas City и в Мексиканском заливе на буровой платформе Deepwater Horizon.

Важным достоинством матрицы рисков, разработанной компанией BP, является приложение к ней, в котором указывается, на каком уровне менеджмента находится каждый риск, т.е. организационно закреплена персональная ответственность за управление рисками и установлено корпоративное правило: чем больше риск, тем выше уровень менеджеров, персонально ответственных за то, чтобы риск не состоялся.

Единая матрица может быть инструментом для принятия взвешенных решений внутри компании в области управления рисками УЦ, ОТ, ПБ и ООС. Очень важный вопрос, который следует решить еще до того, как будет строиться система идентификации и оценки рисков сложных объектов (в нашем случае – объекты ППН и ППД и т.п.), – глубина детализации. Можно рассматривать объект в целом и оценить вероятность и последствия для каждого возможного нарушения целостности и расположить полученные риски на заранее подготовленной матрице. Однако уже на стадии описания всех возможных видов нарушения целостности мы неизбежно будем вынуждены рассматривать каждую единицу оборудования, а на каждой единице оборудования можно рассматривать ее составляющие и так опускаться до каждой мелочи.

При оценке рисков для сложных объектов имеет смысл остановиться на уровне отдельных единиц оборудования, т.е. рассматривать объекты как совокупность единиц оборудования. Барьерная система оценки рисков в данном случае послужит инструментом для выявления потенциальных цепочек негативных событий, следующих за нарушением целостности на одной из единиц оборудования.

К сформулированному ранее условию для идентификации оценки и приоритизации рисков сложных объектов, связанному с необходимостью наличия единой матрицы рисков, можно добавить еще одно: при оценке последствий нарушения целостности отдельных единиц оборудования на объекте необходимо рассматривать возможные негативные цепочки событий и барьеры на их пути. Для этого может применяться вышеописанная барьерная система, апробированная для объектов в целом.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для эффективного УЦ сложных объектов нефтегазодобычи необходимо сформировать инструмент оценки и сравнения рисков нарушения целостности. Таким инструментом может быть матрица рисков актива, при условии, что все возможные последствия нарушения целостности:

- охрана труда и промышленная безопасность;
- охрана окружающей среды;
- нефинансовое влияние на бизнес компании;

- финансовое влияние (повреждение оборудования, потеря стоимости бизнеса) – оценены и выражены в единой размерности. Для целей идентификации и оценки рисков применительно к сложным объектам рекомендуется также при- менять барьерную систему. Основное достоинство барьерной системы – способность выявлять потенциально опасные цепочки событий, благодаря которым основное событие нарушения целостности может привести к тяжелым последствиям.

Литература:

1. Амиров В.Р., Сивоконь И.С. Управление целостностью объектов инфраструктуры месторождений нефти и газа. Идентификация, оценка и приоритезация риска нарушений целостности трубопроводов // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2013. – № 12.
2. Немчинов Д.В., Проталинский О.М. Снижение риска аварийной ситуации на производственном объекте // Управление и моделирование технологических процессов и систем. – 2009. – С. 111–116.
3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010–2010 «Менеджмент риска. Методы оценки риска». – Введ. 01.01.2006. – М: Изд-во «Стандартинформ», 2012. – 70 с.
4. ГОСТ 27.310-95 Межгосударственный стандарт «Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения». – Введ. 01.01.1997. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1996. – 14 с.
5. Амиров В.Р., Сивоконь И.С. Управление целостностью объектов инфраструктуры месторождений нефти и газа. Показатели эффективности // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2013. – № 10.
6. Федеральный Закон № 116-ФЗ от 21.07.1997 (ред. от 18.07.2011) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».
7. Амиров В.Р., Сивоконь И.С. Управление целостностью объектов инфраструктуры месторождений нефти и газа. Нормирование затрат // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2013. – № 11.
8. GDP 3.1-0001 Assessment, Prioritization and Management of Risk in the asset // Корпоративный стандарт BP, 2011.

UDC 658.588.1

**V.R. Amirov**, Head of the Technology, Ground Infrastructure and Software Development of SeverEnergy of Gazprom Neft-Razvitie LLC;  
**I.S. Sivokon**, Advisor to the General Director of Transenergostroy LLC

**Integrity management of infrastructure facilities of the oil and gas fields.**

**Prioritization and management of risks of the facilities integrity violation for oil processing and pumping, recovery of associated gas and systems for maintenance of reservoir pressure at the oil fields**

*The article is the continuation of the series of publications started in No.9, 10, 11, 12 of the NEFTEGAS Territory magazine for 2013. The previous articles contained description for the stages of the life cycle of the infrastructure of oil and gas fields, definitions given for management of the facilities integrity, standard costs and key indicators for the efficiency of this process. By the example of the pipeline infrastructure, the possibility is shown to identify, assess and prioritize the risks.*

*However, the approaches to the integrity management and enhancement of the level of the industrial safety of complex infrastructure facilities, such as installations for oil processing and pumping, systems for reservoir pressure maintenance, collection and recovery of associated gas, etc., are complicated as compared to uniform facilities considered.*

*A positive experience in risk-oriented integrity management of complex facilities is described in this paper, the possibility is shown in prioritization of risks with application of barrier system. The approaches to the solution of the problems in risk-oriented integrity management of hazardous production facilities for the entire asset/field including uniform facilities with low interdependence, and complex facilities, are described. It is shown that the most important tool for integrity management is a common matrix of risks that includes assessment of the probability and consequences both for the integrity violation as risk contributing event and the health, safety and environment risks.*

*For the managers and oil engineers engaged in design and operation of surface oil and gas, and other infrastructure facilities, specialists in the field of risk assessment, health, safety and environment, technical and economic assessment of the assets.*

**Keywords:** risk, risk prioritization, complex facility, barrier, matrix of risks.

1. Amirov V.R., Sivokon I.S. Upravlenie tselostnost'yu ob'ektov infrastruktury mestorozhdeniy nefti i gaza. Identifikatsiya, otsenka i prioretizatsiya riska narusheniy tselostnosti truboprovodov (Integrity management of infrastructure facilities of oil and gas fields. Identification, assessment and prioritization of risks of pipelines integrity violation) // NEFTEGAS Territory. – 2013. – No. 12.
2. Nemchinov D.V., Protalinsky O.M. Snizhenie riska avariynoi situatsii na proizvodstvennom ob'ekte (Risk mitigation of the emergency situation at the production facility) // Management and modelling of processes and systems. – 2009. – P. 111–116.
3. GOST R ISO/IEC 31010–2010 «Menegment riska. Metody otsenki riska» (Risk management. Risk assessment techniques). – Effect. 01.01.2006. – Moscow: Standartinform Publishing House, 2012. – 70 p.
4. GOST 27.310-95 Interstate standard «Nadezhnost v tekhnike. Analiz vidov, posledstviy i kritichnosti otkazov. Osnovnye polozheniya» (Dependability in technics. Failure mode, effects and criticality analysis. Basic principles). – Effect. 01.01.1997. – Minsk: Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification, 1996. – 14 p.
5. Amirov V.R., Sivokon I.S. Upravlenie tselostnost'yu ob'ektov infrastruktury mestorozhdeniy nefti i gaza. Pokazateli effektivnosti (Integrity management of infrastructure facilities of oil and gas fields. Performance indicators) // NEFTEGAS Territory. – 2013. – No. 10.
6. Federal Law No.116-FZ dated 21.07.1997 (revised on 18.07.2011) «O promyshlennoi bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov» (On Industrial Safety of Hazardous Production Facilities).
7. Amirov V.R., Sivokon I.S. Upravlenie tselostnost'yu ob'ektov infrastruktury mestorozhdeniy nefti i gaza. Normirovanie zatrat (Integrity management of infrastructure facilities of oil and gas fields. Standardization of costs) // NEFTEGAS Territory. – 2013. – No. 11.
8. GDP 3.1-0001 Assessment, Prioritization and Management of Risk in the asset // Корпоративный стандарт BP, 2011.