

## **Аварийность на морских объектах нефтегазовых месторождений**

Лисанов Михаил Вячеславович, д.т.н., директор Центра анализа риска ЗАО НТЦ ПБ.

Савина Анна Вячеславовна, старший научный сотрудник ЗАО НТЦ ПБ.

Самусева Евгения Алексеевна, младший научный сотрудник ЗАО НТЦ ПБ.

Сумской Сергей Иванович, старший научный сотрудник АНО «Агентство исследований промышленных рисков»

Континентальный шельф Российской Федерации является самым крупным в мире по площади. Его территория превышает 6.2 млн. км<sup>2</sup>, из них 4 млн. км<sup>2</sup> являются перспективными на добычу нефти и газа. Извлекаемые ресурсы углеводородов на континентальном шельфе Российской Федерации оцениваются в 100 млрд.т, в том числе более 13,5 млрд. т. нефти и около 73 трлн.м<sup>3</sup> газа.

На шельфе России выявлено более 20 крупных перспективных нефтегазоносных бассейнов, открыто 36 месторождений, в том числе уникальные газовые месторождения (Штокмановское, Русановское, Ленинградское) в Западной Арктике и несколько крупных месторождений нефти на северо-восточном шельфе Сахалина.

В настоящее время идет разработка нефтегазовых месторождений в Охотском море в рамках проектов Сахалин 1,2. Уже ведется добыча с платформ «Моликпак», «Пильтун-Астохская-Б», «Лунская-А», «Орлан». Протяженность уже построенных морских трубопроводов составляет порядка 300 км.

По расчетам «Роснефти» до 2020 года потребность только для уже запущенных шельфовых проектов включает необходимость функционирования как минимум 49 добывающих платформ.

В рамках реализации Стратегии изучения и освоения нефтегазового потенциала континентального шельфа Российской Федерации на период до 2020 года [1] продолжается активное освоение новых районов нефтяных и газовых месторождений.

### **Аварийность на морских нефтегазодобывающих платформах**

Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений относится к сфере производственной деятельности повышенной опасности.

Отличительными особенностями аварий на морских площадочных объектах являются скоротечность развития аварийных процессов, связанных с выбросом углеводородов и их горением в условиях плотного размещения оборудования.

В мировую историю освоения континентального шельфа вписан ряд аварий с катастрофическими последствиями, которые возникли вследствие недостаточного внимания к мерам по выявлению и смягчению угроз безопасности. Наиболее крупные аварии на буровых судах и платформах различного типа (полупогружных, погружных, передвижных, стационарных) за период 1979 - 2005 гг. приведены в табл.1.

Таблица 1: Перечень наиболее крупных аварий на морских буровых судах и платформах

<b>Дата и место</b>	<b>Вид аварии</b>	<b>Краткое описание аварии и основные причины</b>	<b>Число пострадавших, ущерб</b>
25.11.1979 Китайское море	Затопление платформы	Во время буксировки в открытом море,буровая платформа «Бохай - II» попала в шторм (10 баллов). В результате затопления насосного помещения платформа	Погибло 72 чел. Ущерб - стоимость платформы

<b>Дата и место</b>	<b>Вид аварии</b>	<b>Краткое описание аварии и основные причины</b>	<b>Число пострадавших, ущерб</b>
		перевернулась и затонула. Причина - нарушение правил транспортировки.	
02.10.1980 Красное море	Неконтролируемый выброс нефти	Во время бурения на платформе «Рон Таппмейер» произошел неконтролируемый нефтяной выброс с последующим взрывом. Выброс в море нефти (~ 150000 т.) и мешков с сыпучими химреагентами.	Погибло 19 чел. Экологический ущерб до 800 000 \$ США.
15.02.1982 Побережье Канады	Затопление платформы	В штормовых условиях опрокинулась и затонула СПБУ «Ocean Ranger». Причина - недостатки конструкции, неподготовленность и неправильные действия экипажа, недостаточное количество спасательных средств.	Погибло 84 чел. Ущерб - стоимость платформы
27.03.1983 Северное море	Разрушение платформы, пожар, взрыв	В штормовых условиях произошло разрушение опор платформы «Александр Киелланд», с последующим взрывом и пожаром. Причины гибели персонала - повреждение спасательных средств.	Погибло 123 чел. Ущерб - стоимость платформы
25.10.1983 Китайское море	Затопление платформы	Во время прохождения тропического тайфуна буровое судно «Гломар Джава Си» сорвало с якорей и перевернуло. Судно затонуло.	Погиб 81 чел. Ущерб - стоимость платформы.
06.07.1988 Северное море	Взрыв, пожар, разрушение платформы	При эксплуатации газового месторождения на производственной палубе платформы «Piper Alpha» произошел ряд взрывов, возник пожар. В результате платформа была разрушена.	Погибло 164 чел. Ущерб - стоимость платформы
15.03.2001 Атлантический океан, побережье Бразилии	Взрыв, разрушение платформы	В результате серии мощных взрывов произошло повреждение одного из понтонов основания нефтедобывающей платформы компании «Petrobras». Платформа затонула. В океан попало 125 тыс. тонн нефти.	Погибло 10 чел.
27.07.2005 Индийский океан	Столкновение с судном, пожар и разрушение платформы	Прибойная волна ударила в стоящее рядом с платформой вспомогательное судно, в результате чего оно врезалось в конструкции платформы. Возник пожар.	Погибло 49 чел.

Как видно из вышеприведенных данных, аварии на морских буровых платформах могут сопровождаться большими человеческими жертвами, вследствие уязвимости персонала к термическому воздействию пожара и токсическому воздействию продуктов горения в силу ограниченности территории платформы и трудностей эвакуации.

Некоторые аварии и инциденты, произошедшие на морских буровых судах и платформах за последние годы, приведены в табл. 2.

Таблица 2: Перечень аварий на морских буровых судах и платформах, произошедших в 2007- 2009 годах

<b>Дата и место</b>	<b>Вид аварии / инцидента</b>	<b>Описание аварии / инцидента, основные причины и последствия</b>
23.10.2007 Мексиканский залив	Штормовое столкновение, пожар	Штормовые ветры вызвали колебания платформы, что привело к удару о вершину клапана фонтанной арматуры соседней платформы. Произошла утечка нефти и газа, с последующим воспламенением. Погиб 21 человек.
24.05.2008 Северное море	Утечка нефти	На нефтедобывающей платформе «Статфьорд А» произошла утечка нефти. Были эвакуированы 156 человек. Часть нефти попала в море.
15.06.2008 Северное море	Пожар на платформе	На норвежской нефтедобывающей платформе «Озеберг А» произошел пожар. Сразу же после возгорания четыре вертолета эвакуировали с платформы 311 нефтяников. Пожар удалось локализовать.
17.09.2008 Средиземное море	Технические неполадки	На платформу упала труба, которую должны были опустить в море. Погибли 3 человека.
31.10.2008 Северное море	Утечка нефти	На нефтедобывающей платформы «Heather Alpha» произошла утечка нефти. С платформы были эвакуированы 56 человек, немногим более тридцати остались на платформе для устранения последствий аварии. Возгорания не произошло.
24.03.2009 Шельф о. Сахалин	Утечка нефти	В результате сбоя в работе одного из узлов на морской платформе "Моликпак", добывающей нефть на сахалинском шельфе в рамках проекта "Сахалин-2", на лед, окружающий платформу, попало 165 литров углеводородов. Последствия аварии были ликвидированы оперативно, загрязнение моря не произошло.
26.05.2009 Гвинейский залив	Нападение на платформу	Сотрудники службы безопасности нефтяной платформы компании Total отразили нападение нигерийских боевиков на скоростной лодке.
01.11.2009 Тиморское море	Пожар на платформе	У северо-западного побережья Австралии произошел пожар на нефтяной платформе таиландской компании PTT Exploration & Production. Пожар начался во время работ по ликвидации утечки нефти. Никто из рабочих на платформе не пострадал. Утечка нефти была обнаружена 21 августа; за этот период в море

Дата и место	Вид аварии / инцидента	Описание аварии / инцидента, основные причины и последствия
		вылилось более 28 тысяч баррелей сырой нефти.

Обзор аварийности на нефтегазодобывающих платформах указывает снижение количества аварий с катастрофическими последствиями (гибель значительного количества людей, масштабное экологическое загрязнение, крупный материальный ущерб) за последние годы, что может быть связано с технологическими и конструктивными усовершенствованиями платформ, применением современных систем обеспечения безопасности.

Обобщение и анализ сведений об авариях, происшедших на морских буровых сооружениях различного типа, позволяет объединить аварии по нескольким укрупненным и взаимосвязанным группам причин (рис. 1):

- неконтролируемый выброс нефти и/или газа из скважин;
- нарушение целостности несущих (или опорных) конструкций, а также отказы (или неполадки) оборудования;
- ошибки персонала;
- внешние воздействия техногенного характера (столкновение с морскими судами, падение вертолета, диверсии);
- нерасчетные природные воздействия.

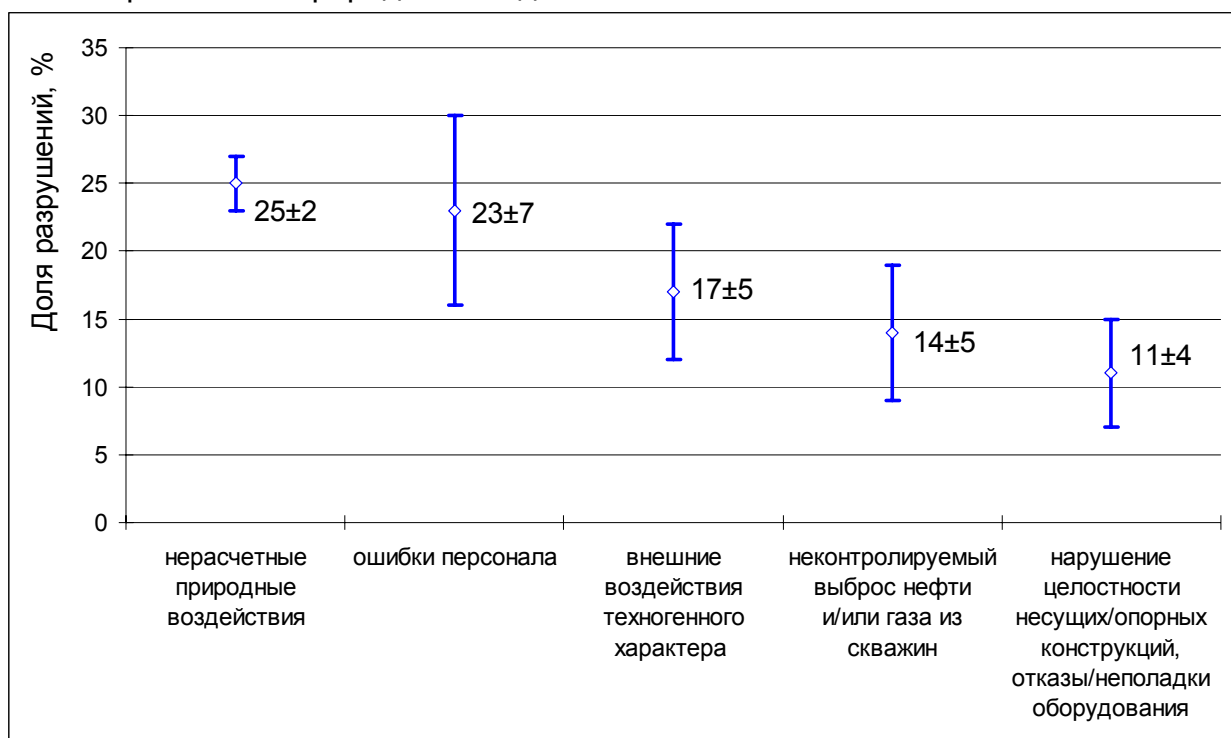


Рис. 1 – Причины аварийности на нефтегазодобывающих платформах

Нефтегазодобывающие платформы характеризуются относительно высокой аварийностью при бурении скважин.

Кроме того, аварийное фонтанирование скважины при ее бурении или эксплуатации по тяжести последствий и воздействию на персонал является одной из наиболее опасных аварийных ситуаций на буровых установках.

По данным WOAD (Всемирный банк данных об авариях на буровых судах и платформах) за период 1970-1997 гг. произошло 15 аварий, приведших к гибели морских стационарных платформ, причиной которых было открытое фонтанирование [2].

В качестве примеров аварийных ситуаций, связанных с выбросами продукции скважин можно привести следующие случаи. В 1985 г. произошли выбросы, сопровождающиеся пожарами на самоподъемной платформе Zapata Enterprize и полупогружной платформе Vest Vanguard. В первом случае никто не пострадал, а во втором один человек погиб в огне. В 1989 г. в результате газового выброса и последовавшего пожара на самоподъемной буровой платформе Sedko-252 ранено 54 человека.

Одна из наиболее известных аварий, связанных с выбросом, произошла в 1988 г. с полупогружной платформой «Ocean Odyssey». При пожаре один человек погиб и 66 человек ранено.

В таблице 3 приведены данные по оценке вероятности выбросов, полученные на основе данных E&P Forum.

Таблица 3 - Данные по вероятности выбросов на скважинах

Этап	Периодичность, 1/год
Предварительное бурение (на каждую пробуренную скважину)	$2,3 \times 10^{-3}$
Заканчивание (на каждую заканчиваемую скважину)	$7,0 \times 10^{-4}$
Добыча (на скважину в год)	$4,6 \times 10^{-5}$
Ремонт и обслуживание (на каждую операцию)	$4,0 \times 10^{-4}$

Основными физическими проявлениями аварий и сопровождающими их поражающими факторами на нефтегазодобывающих платформах являются:

- газопроявления при бурении, обустройстве или при капитальном ремонте скважин, утечки газа на этапе эксплуатации скважин, фонтанирование, в том числе с воспламенением газа и образованием вертикальной, наклонной или настильной струи пламени;

- разрыв трубопровода неразделенной продукции или технологического газопровода, разрушение емкости, аппарата, установки с природным газом под давлением с выбросом, в том числе с воспламенением газа и образованием струевых пламен или пожара в загроможденном пространстве, или с образованием зоны загазованности и последующим задержанным воспламенением и дефлаграционным сгоранием газозвоздушной смеси;

- утечка природного газа внутри помещения с образованием взрывоопасной газозвоздушной смеси, воспламенением смеси и ее взрывное превращение по дефлаграционному типу с образованием волны сжатия и пожара колонного типа в загроможденном пространстве;

- взрыв топливно-воздушной смеси в емкостях с газовым конденсатом, метанолом, дизельным топливом с последующим разливом и воспламенением горючих жидкостей и горением в виде пожара пролива с распространением вблизи места аварии поражающих факторов: осколков емкостей, воздушной волны сжатия, прямого воздействия пламени и теплового излучения от пламени;

- утечка горючей жидкости (дизельного топлива, турбинного масла, метанола) из емкости, резервуара, технологического трубопровода с образованием лужи пролива и испарением жидкости с поверхности разлива; воспламенение топливно-воздушной смеси от какого-либо источника зажигания, находящегося вблизи лужи пролива с возникновением воздушной волны сжатия, образующейся при взрывном сгорании смеси, прямого воздействия пламени при сгорании облака ТВС и теплового излучения от пламени пожара пролива.

Наиболее полно результаты анализа риска аварий изложены в декларациях промышленной безопасности. На 1.05.2008 Ростехнадзором зарегистрировано 13 деклараций промышленной безопасности морских опасных производственных объектах, в том числе для 4-х добывающих платформ и 9 плавучих буровых установок [3]. Из результатов декларирования промышленной безопасности следует что вероятность аварии за год на таких объектах находится в интервале от  $8 \cdot 10^{-5}$  до  $1,6 \cdot 10^{-3}$  1/год.

### Аварийность на морских трубопроводах

При проектировании и сооружении подводных трубопроводов на объектах континентального шельфа используются самые современные достижения в области морских технологий. Однако, как показывает практика эксплуатации подводных трубопроводов, имеются реальные угрозы их повреждения.

Аварии на морских трубопроводах, в первую очередь в Мексиканском заливе и Северном море, рассмотрены в [4,5,6] и обобщены в [7].

На основании анализа около 700 случаев аварийной разгерметизации подводных трубопроводов, установлены основные причины их разрушений (рис. 2). Доминирующими причинами аварийных ситуаций являются: коррозия – 50%, механические повреждения вследствие воздействия якорей, тралов, вспомогательных судов и строительных барж – 20% и повреждения, вызванные штормами, размывами дна – 12%.

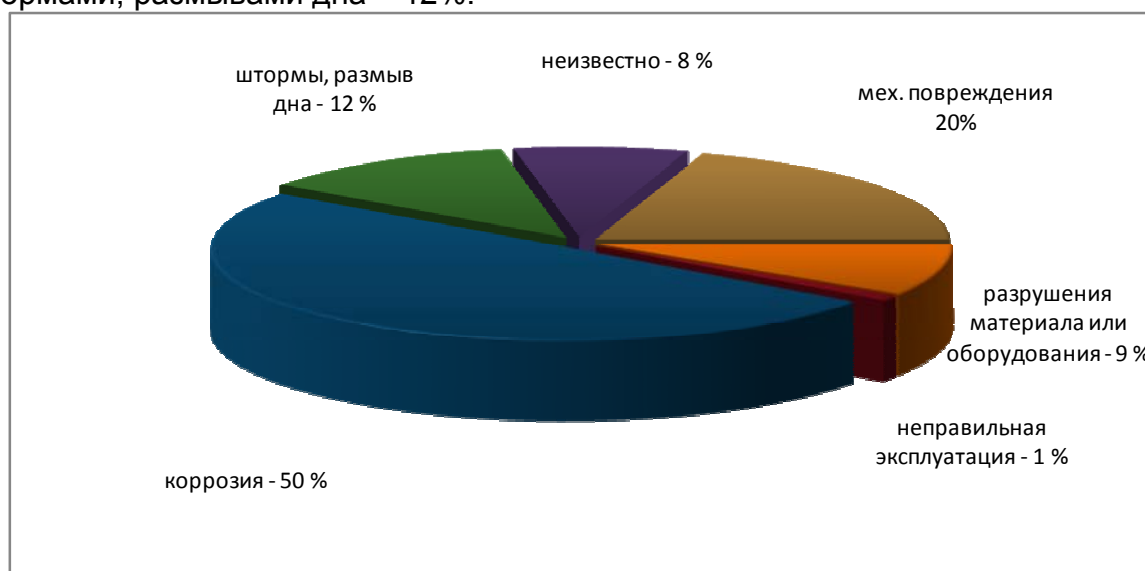


Рис. 2 – Распределение общего числа разрушений подводных трубопроводов в зависимости от вызвавших их причин

Отмечено, что наиболее вероятно разрушение морского трубопровода на участке в непосредственной близости от платформы (настил платформы, секция стояка и территория морского дна в пределах ~15,0 м от платформы) [7].

На основании анализа статистических данных были получены ориентировочные значения интенсивностей аварий на морских трубопроводах: 0,2 аварий/год/1000 км трубопроводов в Мексиканском заливе и 0,3 аварий/год/1000 км для морских трубопроводов в Северном море.

В настоящее время на территории Российской Федерации эксплуатируется 241,6 тысяч километров магистральных и около 350 тысяч километров промысловых трубопроводов.

Аварий на морских трубопроводах в России не зарегистрировано. Для сравнения ниже приведена общая статистика аварийности на всех магистральных

газо- и нефтепроводах в России за последние 10 лет по данным Ростехнадзора (рис. 3).

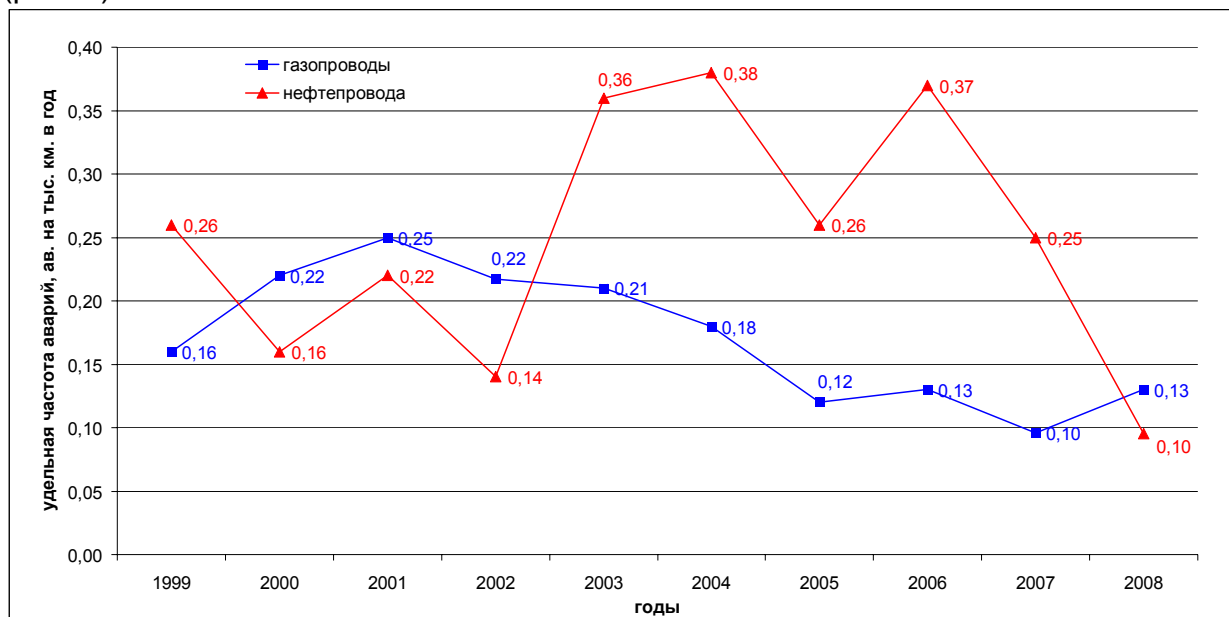


Рис. 3 - Динамика аварийности на объектах магистральных нефте- и газопроводах в России (1999 - 2008 гг.)

Как следует из приведенного графика, аварийность на магистральных газопроводах в последние годы имеет тенденцию к снижению. Причина этого может быть связана с повышением требований промышленной безопасности, в том числе за счет увеличения объема работ по внутритрубной диагностике и процедур выборочного ремонта участков трубопроводов с целью продления их ресурса. Вместе с тем аварийность на нефтепроводах на 70-90% обусловлена внешними причинами, в основном из-за несанкционированных «врезок» с целью хищений нефтепродуктов.

Исходя из приведенных данных средняя частота аварий в России за последние 10 лет составляет 0,17 ав./год/1000 км для газопроводов и 0,25 ав./год/1000 км для нефтепроводов.

Наиболее достоверным источником зарубежных данных по авариям на объектах трубопроводного транспорта является обзорная публикация [8].

Анализируя данные об авариях в Европе и США, зарубежные исследователи отмечают, что трубопроводные системы в этих регионах становятся более безопасными. Выводы основаны на данных EGIG (европейские газопроводы), CONCAWE (западно-европейские магистральные нефтепроводы) и Управления трубопроводной безопасности (OPS) Министерства транспорта США (нефтепроводы, газопроводы).

Так, средний показатель удельной частоты аварий на европейских нефтепроводах снизился с 1,17 аварий/год/1000 км (в период 1971-75 гг.) до 0,30 аварий/год/1000 км (1997-2001 гг.). На европейских газопроводах этот показатель уменьшился с 0,86 аварий/год/1000км до 0,30 аварий/год/1000 км.

Средний показатель аварийности за 5 лет на газопроводах США практически не изменился за 17 лет и на период до 2002 г. составляет (0,15-0,17) аварий/год/1000 км.

Аварийность на газопроводах США формально считается ниже, чем на европейских. Это объясняется, в том числе и изменением в законодательстве с 1984 г. понятия аварий: под таковыми понимаются инциденты, нанешие

материальный ущерб свыше 50 тыс. долл. (в Европе авариями считаются все случаи непреднамеренной утечки газа).

В таблице (таблица 4) приведены обобщенные данные по авариям на различных трубопроводах (линейная часть) с учетом различий в трактовки термина «авария».

Таблица 4 - Удельная частота аварий на линейной части трубопроводов (аварий/год/1000 км)

<b>Трубопровод</b>	<b>Европа</b>	<b>США</b>	<b>Россия</b>
Газопроводы	0,21	0,15 (0,55 <sup>1</sup> )	0,17
Нефтепроводы	0,30 (0,21 <sup>2</sup> )	0,61 (0,38)	0,25
Подводные трубопроводы	0,3	0,2	н/д

Из представленных данных следует, что удельная частота аварий на магистральных трубопроводах в России не превышает аналогичного показателя в Европе и США. Поэтому в целях прогноза для «консервативной» оценки риска аварийность на подводных морских трубопроводах в Российской Федерации может быть оценена на уровне 0,2-0,3 ав./год/1000 км.

В результате аварий, связанных с морскими подводными трубопроводами, имели место относительно немногочисленные случаи ранения и гибели людей [7], которые обобщены в таблице 5.

Таблица 5 - Случаи гибели и ранения людей в результате аварий на подводных трубопроводах (1967-1990 гг.)

<b>Дата</b>	<b>Авария</b>	<b>Число погибших/ раненых</b>
1975	Плэсид, о.Евгения (во время ремонта газопровода)	3/0
1979	Шефрон, Шип Шоул (во время ремонта конденсатопровода)	1/1
1987	Судно «Си Чиф» (столкновение с конденсатопроводом)	2/1
1989	Судно «Нордум берланд» (столкновение с газопроводом)	11/3
1989	Сонат/Арко платформа, ремонт подводящего газопровода	7/10
1990	Сонат Си Робин (ремонт газопровода)	0/2

Осуществление промышленной добычи углеводородного сырья на континентальном шельфе Российской Федерации создает опасность нарушения экологического равновесия морской и геологической сред в районах проведения работ и на путях транспортировки нефтепродуктов. Это усугубляется тем, что как арктические, так и дальневосточные моря России характеризуются низким уровнем интенсивности естественной биологической очистки, что в случае аварийных разливов нефти может привести к длительному загрязнению морской воды и донных отложений [1].

<sup>1</sup> По всем авариям с нарушением герметичности независимо от объема выброса

<sup>2</sup> Данные о частоте аварий с разливом свыше 50 баррелей, что соответствует американскому определению аварии



При авариях на морских трубопроводах основной экологический ущерб будет определяться размером платежей за сверхнормативное загрязнение окружающей среды и стоимостью работ по локализации и ликвидации аварийного разлива.

Исходя из наших работ по количественной оценке риска в рамках процедуры декларирования промышленной безопасности морских объектов (см. <http://www.safety.mou.su>) для типичных морских трубопроводов продукции скважин средняя (расчетная) величина массы утечки от одной аварии превышает 1000 т, что существенно выше среднестатистических значений для действующих сухопутных трубопроводов. Это объясняется особенностями истечения многофазной продукции (газ/нефть/вода), отсутствием надежной системы обнаружения утечек для многофазных сред, а также сложностью проведения работ по ликвидации аварийных разливов нефтепродуктов в море [9].

По показателю экологического риска морские трубопроводы, в отличие от сухопутных, чаще всего соответствуют «высокой» (в соответствии с [10]) степени риска (Рис. 4).

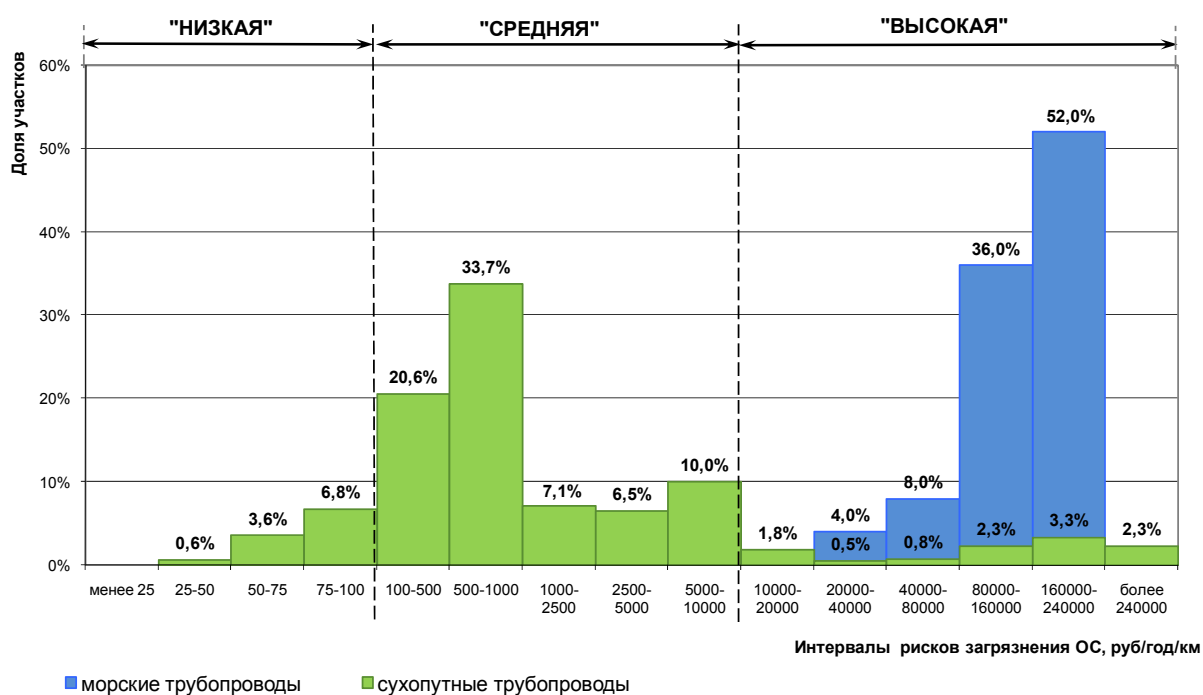


Рис. 4 - Распределение суммарной длины участков трассы по показателю риска загрязнения окружающей среды (на основе данных по декларированию промышленной безопасности)

С началом реализации проектов по освоению месторождений морского континентального шельфа риск аварий, в том числе с разливами нефти в море, будет возрастать. Для предупреждения этих новых опасностей требуется использование современных технологий и применение адекватных мер обеспечения безопасности.

Процедуры анализа риска и декларирования промышленной безопасности, осуществляемые на этапе проектирования, дают возможность оценить уровень безопасности объектов нефтегазовых месторождений. Результаты анализа риска позволяют планировать и осуществлять организационные и технические меры обеспечения безопасности и снижения возможности возникновения аварийных ситуаций и ущерба от них.

Список использованных источников:

1. Стратегия изучения и освоения нефтегазового потенциала континентального шельфа Российской Федерации на период до 2020 года (Проект) [<http://www.mnr.gov.ru/part/?act=more&id=647&pid=45>].
2. Анализ рисков открытого фонтанирования при бурении скважин и эксплуатации нефтегазодобывающих платформ континентального шельфа на стадии проектирования. ОАО «ЦКБ «Коралл» Чулков А.Д., Руденко С.В. Материалы научного семинара «Промышленная безопасность. Современные методы анализа техногенного риска в работах молодых ученых», НТЦ «Промышленная безопасность», 22 ноября 2004 г.
3. Анализ риска аварий на опасных производственных объектах морских нефтегазовых месторождений. М.В. Лисанов, В.В. Симакин. Материалы II Международной конференции ROOGD-2008 «Освоение ресурсов нефти и газа российского шельфа: Арктика и Дальний Восток», 17-18 сентября 2008 г, с. 93-94.
4. A. Adams/ The UK experience in offshore pipeline operations – Pipes & Pipelines Int. M-A. 1992, p. 9-14.
5. W.K. Olender. Statistical Failure Mode Analysis of Submarine Pipeline Accidents. – Proc. Oil Spill Conf.: Prev., Behav., Contr., Cleenag. Sah Antonio. Tex.. 28 Febr – 3 March, 1983. p. 361-365.
6. J.S. Mandke Corrosion causes most Mexico – Oil and Gas J., 1990, 88, № 44, p. 40-44.
7. Обоснование показателей безопасности и анализ риска при эксплуатации подводного перехода газопровода «Россия-Турция» через Черное море. Сафонов В.С., Одишария Г.Э., Шеберстов Е.В. (ООО «ВНИИГАЗ»). М. Материалы тематического семинара «Об опыте декларирования промышленной безопасности и страхования ответственности. Развитие методов оценки риска аварий на опасных производственных объектах». НТЦ «Промышленная безопасность», с. 124-142, 2003 г.
8. Трубопроводы в США и Европе становятся более безопасными. Обзор иностранной прессы. / Трубопроводный транспорт: теория и практика, 2005, №1.
9. Оценка риска аварий на морских трубопроводах. М.В. Лисанов, С.И. Сумской (ЗАО НТЦ ПБ). Материалы III Международной конференции «Газотранспортные системы: настоящее и будущее». ВНИИГАЗ, 27-28 октября 2009.
10. РД «Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах», (утв. АК «Транснефть» 30.12.99 приказом № 152, согласовано Госгортехнадзором от 07.07.99 № 10-03/418, 1999).