

УДК 624.145.7

О.М. Финагенов

## Количественная оценка риска аварий опорной части морской стационарной платформы при экстремальных природных воздействиях

### Ключевые слова:

шельф, опорная часть платформы, риск аварий, сценарий аварии, наиболее тяжелая авария, наиболее вероятная авария.

### Keywords:

shelf, rig support, accident risk, accident scenario, the most severe accident, the most probable accident.

На начальном этапе анализа и оценки риска аварий опорной части морской стационарной платформы проводится предварительный анализ опасностей с выбором рангов вероятности и последствий аварий.

При переходе к количественной оценке риска аварий опорной части платформы (ОЧП) составляется матрица качественного экспертного ранжирования аварий, возможных на ОЧП, по уровню риска для персонала, населения, имущества и окружающей природной среды (табл. 1).

Таблица 1

**Матрица качественного экспертного ранжирования аварий, возможных на ОЧП, по уровню риска для персонала, населения, имущества и окружающей природной среды**

Вероятность аварии	Последствия аварии		
	незначительные (1)	существенные (2)	серьезные (3)
Малая (1)	<i>C</i> 1.1, 1.2	<i>B</i> 1.7, 1.8	<i>B</i>
Средняя (2)	<i>C</i> 1.6, 1.12, 1.13, 2.2, 2.3, 2.4, 3.3	<i>B</i> 1.3, 3.2	<i>A</i> 1.4, 1.5, 2.1, 3.1
Высокая (3)	<i>B</i> 1.9	<i>A</i> 1.10, 1.11	<i>A</i>

Для ранжирования приняты следующие *категории аварий по уровню риска*:

*A* – *существенный риск*, необходим детальный анализ и количественные оценки составляющих риска, требуются организационные и технические меры снижения риска аварии и обеспечения безопасности сооружения;

*B* – *«средний» риск*, желателен качественный анализ риска и разработка мер по его снижению;

*C* – *несущественный риск*, (меньше приемлемых величин), детальный анализ риска и разработка мер по его снижению не требуются.

Результаты качественного экспертного ранжирования, приведенные в табл. 1, позволяют категорировать аварии, возможные на опорной части стационарной морской газодобывающей платформы, следующим образом.

Категория *C* присвоена сценариям 1.1, 1.2, 1.6, 1.12, 1.13, 2.2, 2.3, 2.4, 3.3.

Категория *B* присвоена сценариям 1.3, 1.7, 1.8, 1.9, 3.2.

Ввиду многочисленности перечня сценариев аварий категорий *C* и *B*, а также относительно невысоких последствий аварий, развивающихся по указанным сценариям, их характеристика здесь не приводится.

Категория *A* присвоена сценариям:

1.4 – *ледовая нагрузка*, приводящая к полному или частичному разрушению колонны ОЧП;

1.5 – *сейсмическое воздействие*, приводящее к полному или частичному разрушению колонны ОЧП;

2.1 – *сейсмическое воздействие*, приводящее к полному или частичному разрушению отсеков кессона ОЧП;

3.1 – *сейсмическое воздействие*, приводящее к нарушению несущей способности грунтов основания, существенному горизонтальному сдвигу и крену ОЧП, следствием которого может быть его частичное или полное разрушение;

1.10, 1.11 – *пожар со взрывом в технологическом оборудовании на верхней палубе платформы*, приводящий к термическому воздействию на оголовки колонн, образованию трещин в бетоне, перекосам арматуры верхней части колонн ОЧП.

Развитие аварийного процесса по любому из указанных сценариев категории А может привести к потерям среди персонала, гибели верхних строений платформы, прекращению процесса добычи и первичной подготовки газа, экологическому ущербу вследствие выбросов газа из устьев скважин и оборудования платформы в морские воды.

Опасными воздействиями, способными инициировать аварии ОЧП, являются:

- техногенные воздействия – падение груза на палубу верхнего строения платформы, столкновение вертолета с колонной ОЧП, навал на колонну ОЧП дежурного или постороннего судна, пожар и взрыв в технологическом оборудовании верхних строений платформы;
- природные воздействия – волновые, ледовые, сейсмические, температурные, усталостные, биологическая и химическая коррозия материалов, из которых изготовлены элементы ОЧП, нагрузки от волн и течения.

«Дерево отказов» для сценариев возможных аварий ОЧП, учитывающее все перечисленные выше причины аварий ОЧП, приведено на рис. 1.

В качестве сценария наиболее тяжелой аварии ОЧП принят сценарий полного или частичного разрушения одного из элементов опорной части в результате сверхрасчетных природных воздействий, а именно:

- полное или частичное разрушение одной из колонн ОЧП в результате действия ледовой нагрузки или сейсмического воздействия;
- деформация отсеков кессона в результате сейсмического воздействия;
- нарушение несущей способности грунта основания сооружения при сейсмическом воздействии, вследствие чего может произойти горизонтальное смещение ОЧП или ее крен, превышающие допустимые значения.

Блок-схема анализа условий возникновения и развития наиболее тяжелой аварии ОЧП приведена на рис. 2.

В качестве сценария наиболее вероятной аварии ОЧП принят сценарий полного или частичного разрушения оголовка или верхней части колонны опорной части платформы в результате пожара со взрывом в технологическом оборудовании на верхней палубе.

Блок-схема анализа условий возникновения и развития наиболее вероятной аварии ОЧП приведена на рис. 3.

Сравнение приведенных блок-схем показывает, что как наиболее тяжелая, так и наиболее вероятная аварии, возможные на ОЧП, приводят к гибели платформы, потерям среди ее персонала, материальному и экологическому ущербу.

Среднегодовая частота реализации сценария наиболее вероятной аварии опорной части платформы принята равной величине  $3,2 \cdot 10^{-8}$  1/год по данным анализа риска аварий опасных технологических установок верхних строений платформы.

Среднегодовая частота реализации сценария наиболее тяжелой аварии опорной части платформы получена расчетным путем на основе данных о частотах сейсмических и ледовых воздействий в районе месторождения, способных разрушить один из элементов ОЧП, и результатов экспертной оценки вероятности частичного и полного разрушений элементов ОЧП при указанных воздействиях, приведенных в табл. 2.

Среднегодовая частота максимального расчетного землетрясения (МРЗ) составляет величину  $3,33 \cdot 10^{-4}$  1/год (землетрясение повторяемостью 1 раз в 3000 лет).

Среднегодовая частота ледовой нагрузки, которая может привести к разрушению одного из элементов опорного основания платформы, составляет величину  $1,0 \cdot 10^{-2}$  1/год (ледовая нагрузка повторяемостью 1 раз в 100 лет).

Ожидаемая среднегодовая частота реализации сценария наиболее тяжелой аварии – полного разрушения одного из элементов ОЧП и эскалации аварийного процесса на буровое и технологическое оборудование с последующим его разрушением вплоть до гибели платформы – составляет величину:

- для колонны ОЧП –  $3,33 \cdot 10^{-9}$  1/год (сейсмическое воздействие) и  $1 \cdot 10^{-9}$  1/год (ледовое воздействие);

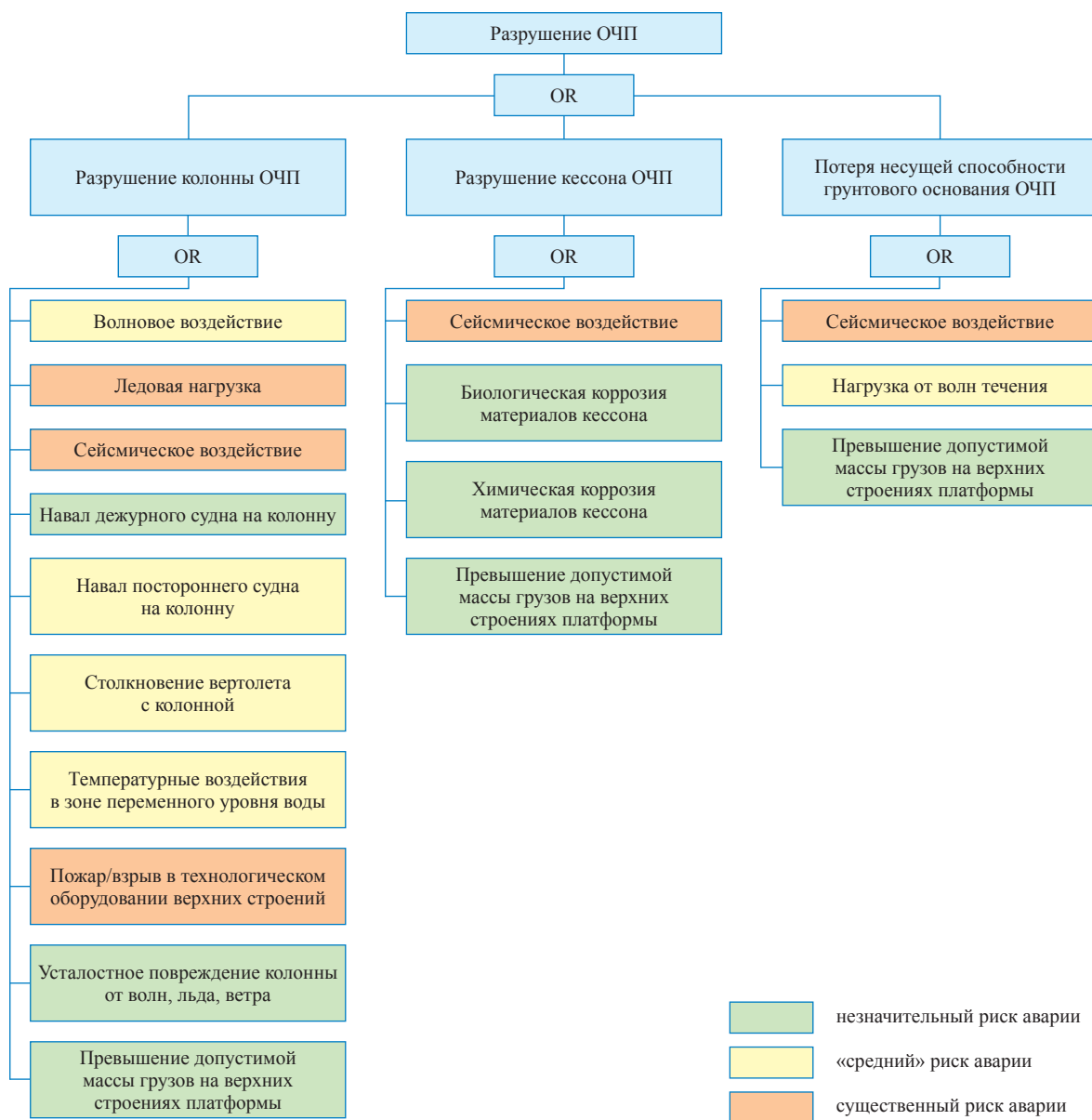


Рис. 1. «Дерево отказов» для сценариев возможных аварий ОЧП

- для кессона ОЧП –  $3,33 \cdot 10^{-9}$  1/год (сейсмическое воздействие) и  $1 \cdot 10^{-10}$  1/год (ледовое воздействие);

- для грунтового основания сооружения –  $6,66 \cdot 10^{-9}$  1/год (сейсмическое воздействие) и  $1 \cdot 10^{-11}$  1/год (ледовое воздействие).

В целом для ОЧП (совместно с грунтовым основанием) обобщенная среднегодовая частота реализации наиболее тяжелой аварии составляет величину  $1,44 \cdot 10^{-8}$  1/год.

Справедливость выбора сценариев наиболее тяжелой и наиболее вероятной аварий ОЧП подтверждена детальными оценками ущерба от аварий ОЧП.

Специфика размещения платформы в открытом море, удаленность ее от населенных пунктов и промышленных объектов позволяют не учитывать ряд общих показателей ущерба, не имеющих места при аварии ОЧП [1].

В табл. 3 (в относительных единицах) даны показатели риска аварий ОЧП ( $R = F \cdot U$ ) с учетом полученных расчетным путем значений их вероятности (среднегодовой частоты  $F$ ) реализации и ущерба ( $U$ ).

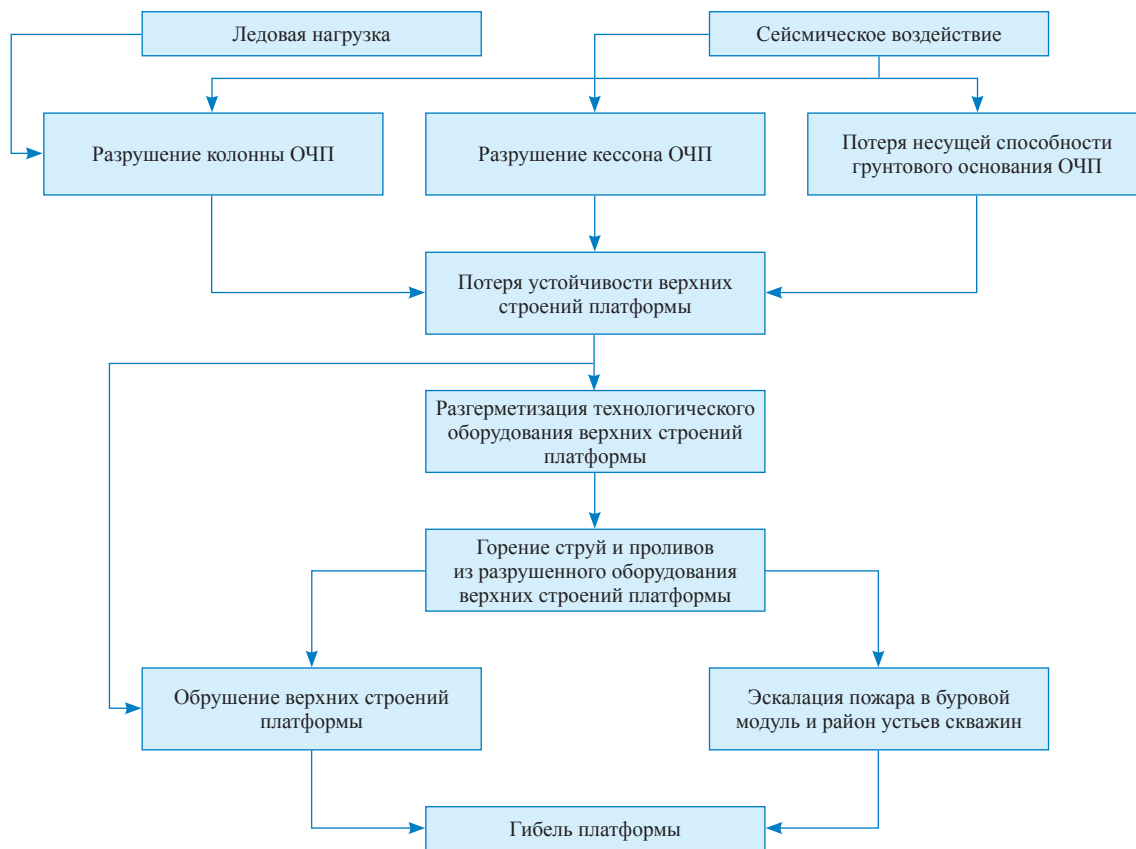


Рис. 2. Блок-схема анализа условий возникновения и развития наиболее тяжелой аварии ОЧП

Таблица 2

Вероятность полного и частичного разрушения элементов ОЧП

Элемент опорной части платформы	Вероятность разрушения			
	МРЗ		ледовая нагрузка	
	полное разрушение (нарушение несущей способности)	частичное разрушение (нарушение несущей способности)	полное разрушение (нарушение несущей способности)	частичное разрушение (нарушение несущей способности)
Колонна ОЧП	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Кессон ОЧП	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-6}$
Грунтовое основание	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-7}$

Таблица 3

Показатели риска аварий ООП

Сценарий аварии	F, 1/год	Риск аварии (R), отн. ед./год			
		соц.	имущ.	экол.	общий
Наиболее тяжелая	$1,44 \cdot 10^{-8}$	3,48	3,60	2,16	10,02
Наиболее вероятная	$3,2 \cdot 10^{-8}$	3,87	1,26	2,42	8,19

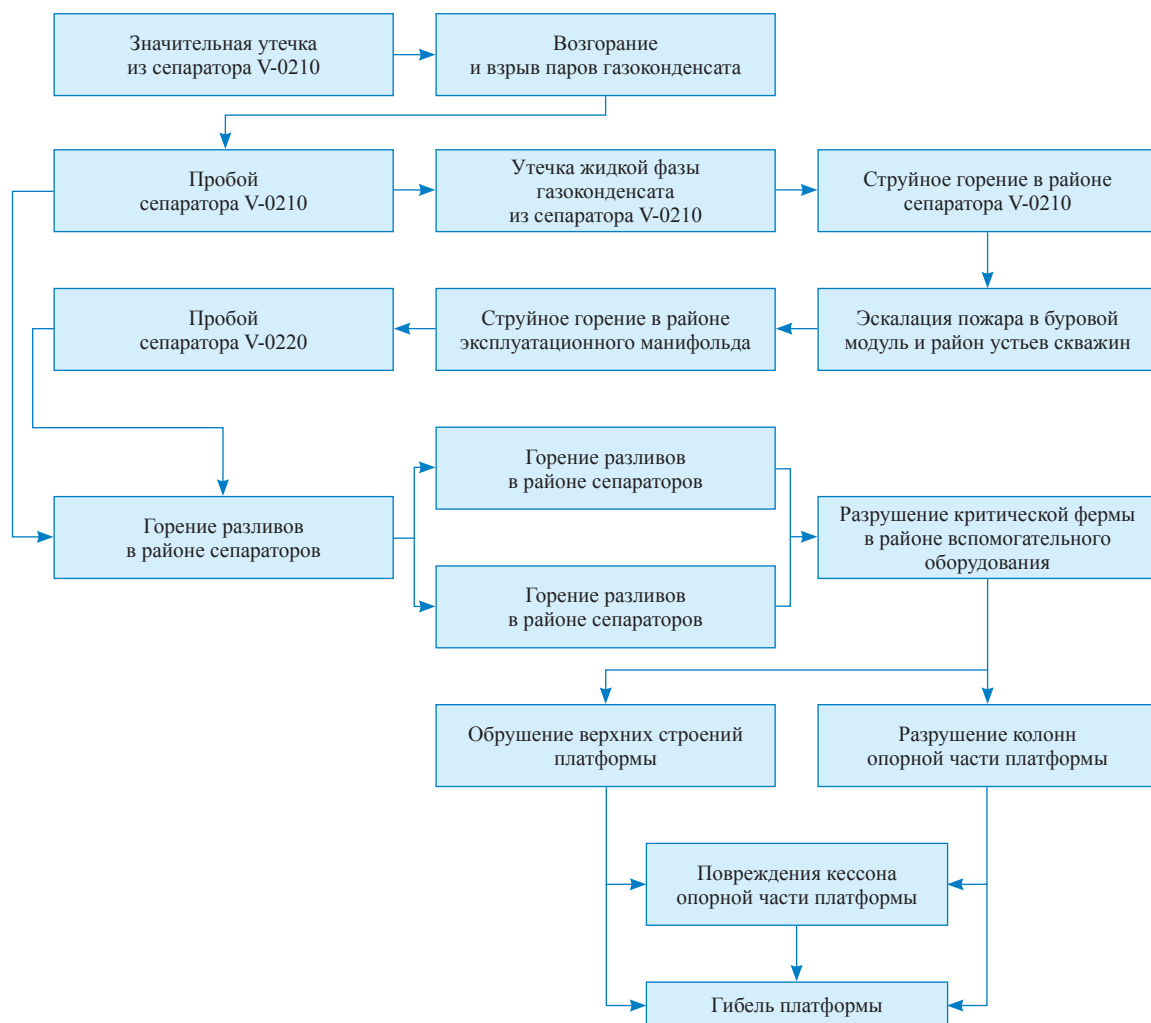


Рис. 3. Блок-схема анализа условий возникновения и развития наиболее вероятной аварии ОЧП

Таким образом, риск аварий ОЧП уверенно может квалифицироваться как приемлемый, поскольку допускаемая нормами [2] вероятность аварии гидротехнических сооружений I класса, каковыми являются морские стационарные платформы, составляет  $5 \cdot 10^{-5}$  1/год, что, как минимум, на три порядка больше величин, полученных для анализируемого сооружения.

При этом расчетные значения ожидаемого социального, экономического и экологического ущерба от аварий ОЧП следует рассматривать как основание для определения величины финансового обеспечения гражданской ответственности владельца сооружений за вред, нанесенный третьим лицам при аварии платформы, а также как величину ущерба, предотвра-

щенного уже на стадии проектирования путем выбора технических решений по конструкции и компоновке ОЧП, учитывающих весь спектр природных и техногенных воздействий, способных привести к аварии сооружения.

### Список литературы

1. Правила определения величины финансового обеспечения гражданской ответственности за вред, причиненный в результате аварии гидротехнического сооружения (утв. Постановлением Правительства РФ от 18.12.2001 г. № 876).
2. СП 58.13330.2012. Гидротехнические сооружения. Основные положения (актуализ. ред. СНиП 33-01-2003).