

О применении экспертно-статистического метода при оценке риска морских работ

Н. А. ВАЛЬДМАН, начальник сектора, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник ФГУП «ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова»



Метод экспертно-статистического анализа основан на использовании статистических данных по авариям, учете конкретных условий в районе расположения морских объектов, маршрутов выполнения операций и экспертных оценок факторов, приводящих к авариям.

Оценка вероятности аварийного разлива из танкера

Вероятность аварии танкера с последующим разливом нефти на различных участках маршрута плавания (на трассе, в порту, в акватории расположения платформы и т. д.) зависит от ряда факторов, таких как гидрометеорологические условия, навигационная обстановка, интенсивность судоходства, условия плавания, размеры фарватера и т. д.

Для оценки вероятности зоны z на маршруте плавания выбираются так, чтобы влияние перечисленных факторов на вероятность возникновения аварии танкера было наименьшим.

Рассмотрим алгоритм определения численных значений вероятности P_z ($z = 1, 2, \dots, Z$) конкретного вида аварии танкера с последующим разливом K_{zn} ($n = 1, 2, \dots, N, n$ — номер вида аварии, N — общее количество рассматриваемых аварий) в каждой зоне z с последующим определением:

В последние годы в отечественной практике при анализе рисков проектов морских сооружений и морских операций широко применяются экспертно-статистические оценки [1]. При этом используются базы данных, содержащие информацию о случаях аварий и поврежденных морских объектов, произошедших в тех или иных конкретных условиях и районах. Наиболее полная информация такого рода содержится во Всемирной базе данных по авариям на шельфе — WOAD [2]. Lloyd's Register хранит сведения об авариях, вызванных повреждениями судов и шельфовых сооружений. База данных норвежского регистра (DNV) содержит информацию о механических повреждениях, связанных с процессом эксплуатации морских сооружений и судов, и служит основой для проведения детального количественного анализа риска [2; 3].

Для корректной оценки риска также необходим учет конкретных условий в районе расположения объектов на шельфе и маршрутов выполнения морских операций (каналы, узкости и фарватеры и т. д.).

При оценке безопасности морских работ также необходим учет ледовых условий, возможных столкновений судов с ледоколами, опасности разлива жидких углеводородов, что особенно важно для уязвимой арктической среды. Кроме того, следует учитывать вероятные угрозы экипажам судов и персоналу морских объектов. Типичными факторами, приводящими к опасным авариям [3], являются:

- разливы нефти и нефтепродуктов при погрузке/разгрузке, разрушения или неисправности в системе хранения груза;
- столкновения, навалы и посадки на мель;

- разрушение конструкций;
- затопление отсеков, перевертывание и затопление судна/установки;
- пожары и взрывы;
- травмы, ранения или смерть членов экипажа (независимо от повреждения установки или судна); этот тип аварии должен рассматриваться как первичный — когда объект не поврежден.

Для оценки перечисленных факторов, влияющих на эксплуатацию морских сооружений и проведение морских работ и операций в арктических условиях, используются экспертные данные.

Рассмотрим применение метода экспертно-статистического анализа на нескольких примерах.

Таблица 1. Результаты определения вероятностей

Зона, z	Вероятность разлива нефти в каждой зоне, P_z	Вид аварии, K_{zn}	Вероятность аварии вида K_{zn} в зоне z , $P(K_{zn})$	Вероятность события с разливом нефти T по причине аварии танкера, $P(T/K_{zn})$
$z = 1$ район платформы	0,70	K_{11}	0,16	0,10
		K_{12}	0,19	0,20
		K_{13}	0,20	0,06
		K_{14}	0,15	0,40
$z = 2$ участок трассы до выхода на генеральный маршрут	0,30	K_{21}	0,07	0,10
		K_{22}	0,08	0,20
		K_{23}	0,08	0,06
		K_{24}	0,06	0,40

K_{z1} — посадка на мель; K_{z2} — столкновение; K_{z3} — пожар/взрыв;
 K_{z4} — разрушение конструкции корпуса

Таблица 2. Результаты классификации сценариев, полученные экспертами

Зона	Эксперт	Рассматриваемые сценарии								W
		S_{z1}	S_{z2}	S_{z3}	S_{z4}	S_{z5}	S_{z6}	S_{z7}	S_{z8}	
1	I	1	2	3	5	4	6	8	7	0,95
	II	2	1	4	3	5	6	7	8	
	III	1	2	4	3	5	6	7	8	
	IV	2	1	3	4	5	6	7	8	
2	I	5	-	2	4	1	3	7	6	0,90
	II	4	-	1	5	2	3	7	6	
	III	5	-	3	4	1	2	6	7	
	IV	5	-	1	4	3	2	6	7	

Проверка согласованности оценок экспертов, выполненная с применением коэффициента согласованности (конкордации) W по формуле (1)

● сценария возникновения аварийных ситуаций: S_m ($m=1, \dots, M$, m — номер рассматриваемого сценария, M — общее число сценариев) [4];

● вероятности аварий танкера вида K_{zn} в зоне z и вероятности $P(K_{zn})$;

● вероятности события разлива нефти (T) в случае аварии танкера — $P(T/K_{zn})$.

Значения вероятности могут быть определены экспертно-статистическим методом с привлечением экспертов в данной области, знающих статистику по аварийности судов.

Каждому сценарию S_m эксперт присваивает ранг (уровень или степень риска), причем число 1 соответствует наивысшей степени риска аварии.

С целью проверки согласованности оценок экспертов для выбранных сценариев используется коэффициент согласованности (конкордации) W [3; 5]

$$W = \frac{12 \sum_{m=1}^M \left[\sum_{j=1}^J S_{ij} - \frac{1}{2} J(M+1) \right]^2}{J^2(M^3 - M)} \quad (1)$$

где J — количество экспертов;

M — количество сценариев аварий.

Коэффициент W варьируется от 0 до 1. $W = 0$ соответствует полной несогласованности оценок, $W = 1$ — полной согласованности оценок, $W = 0,5 \dots 0,7$ — минимально допустимый. При неудовлетворительном уровне согласованности необходим пересмотр оценок экспертов.

Для каждой зоны z района плавания танкера выполняется соотношение

$$P_z = \sum_{m=1}^M P(S_{zm}) = \sum_{n=1}^N P(K_{zn}) \quad (2)$$

где P_z — вероятность аварийного разлива в зоне z ;

$P(S_{zm})$ — вероятность реализации сценария $P(S_m)$ в зоне z ;

$P(K_{zn})$ — вероятность вида аварии K_n танкера в зоне z .

Распределение полной вероятности аварии танкера K_{zn} в зоне z с последующим разливом нефти может быть рассчитана в соответствии с теоремой Байеса по формуле (3):

$$P(K_{zn}/T) = \frac{P(K_{zn})P(T/K_{zn})}{\sum_{n=1}^N P(K_{zn})P(T/K_{zn})} \quad (3)$$

где $P(T/K_{zn})$ — вероятность аварийного разлива нефти вследствие аварии вида K_{zn} танкера в зоне z ; значения $P(K_{zn})$, $P(T/K_{zn})$ определены на предыдущих шагах.

Распределение полной вероятности для аварий танкера с разливом нефти

Таблица 3. Расчетные значения вероятностей аварий K_{zn}

Зона	Вид аварии	Обозначение	Вероятности аварии с последующим разливом нефти, $P(K_{zn}/T)$
1	Посадка на мель	K_{11}	0,13
	Столкновение	K_{12}	0,30
	Пожар/взрыв	K_{13}	0,10
	Повреждение конструкций корпуса	K_{14}	0,48
2	Посадка на мель	K_{21}	0,14
	Столкновение	K_{22}	0,31
	Пожар/взрыв	K_{23}	0,09
	Повреждение конструкций корпуса	K_{23}	0,46

Таблица 4. Результаты оценки риска буксировки платформы

№ п/п	Сценарий	Уровень вероятности, комментарии	Уровень последствий, выводы экспертов
1	Нарушение герметичности, просачивание воды через сварные и фланцевые соединения	1–2 После проведения всех надлежащих проверок герметичности событие маловероятно	1 Последствия просачивания воды (разгерметизации) незначительны
2	Выход из строя элементов буксирного и швартовного устройства	2 При проведении МО в безопасных метеоусловиях и соблюдении установленной скорости буксировки событие маловероятно	3 При обрыве буксирной линии возможен неконтролируемый дрейф платформы, который в узком канале может вызвать существенное повреждение конструкций и длительную приостановку МО
3	Выход из строя судна-буксировщика	1 На судах соблюдаются надлежащие меры безопасности и работает опытный экипаж	2–3 Выход из строя буксирного судна может вызвать паузу в МО для ремонта или привлечение нового буксира
4	Повреждения, вызванные падением/смещением оборудования, конструкций, фундаментов, груза на платформе.	1 Поскольку все элементы конструкций должны быть надежно закреплены, это крайне маловероятное событие	1–2 Повреждения могут вызвать небольшую задержку в проведении МО
5	Повреждения МЛСП, вызванные падением внешних объектов (самолет, вертолет)	1	1 Последствия могут варьироваться в широких пределах
6	Повреждения, вызванные касанием грунта	2 При соблюдении режима буксировки и правил безопасности мореплавания событие не произойдет	1 Касание платформы грунта не вызовет значительных ее повреждений
7	Посадка на мель	2 При соблюдении режима буксировки и правил безопасности мореплавания событие маловероятно	3 Посадка на мель потребует привлечения судов для снятия платформы с грунта, что вызовет приостановку/задержку МО
8	Повреждения, вызванные столкновением с другим судном/опасным дрейфующим объектом	2	1–3 Возможны повреждения конструкций платформы, в том числе значительные
9	Навал буксира на платформу	2 Событие возникает при ошибке судовождения	2 При применяемых скоростях буксировки навал не вызовет значительных повреждений

по всем зонам и видам аварий определяется перемножением вероятности разлива нефти P_z в зоне z на полученное по формуле (3) значение $P(K_{zn}/T)$.

Приведенная выше модель расчета полной вероятности может применяться как для оценки вероятности аварийных ситуаций на танкере, сопровождающихся разливами, так и для оценки других аварийных событий с распределением вероятности по зонам z и видам аварий K_{zn} .

В соответствии с законом распределения Пуассона [6], вероятность, по

крайней мере, единичного события разлива нефти, вызванного аварией танкера в рассматриваемом районе плавания, рассчитывается по формуле (4):

$$P_{\Sigma T} = 1 - e^{-nP_t \frac{t_{\Sigma} - t_k}{365}}, \quad (4)$$

где n — среднее число танкеров, входящих в район плавания за год;
 P_t — средняя вероятность аварии одного эксплуатируемого танкера в год, время грузовых операций — загрузка и выгрузка, а также время ремонта не включается;
 t_{Σ} — среднее время эксплуатации танкера в районе плавания (сут.);

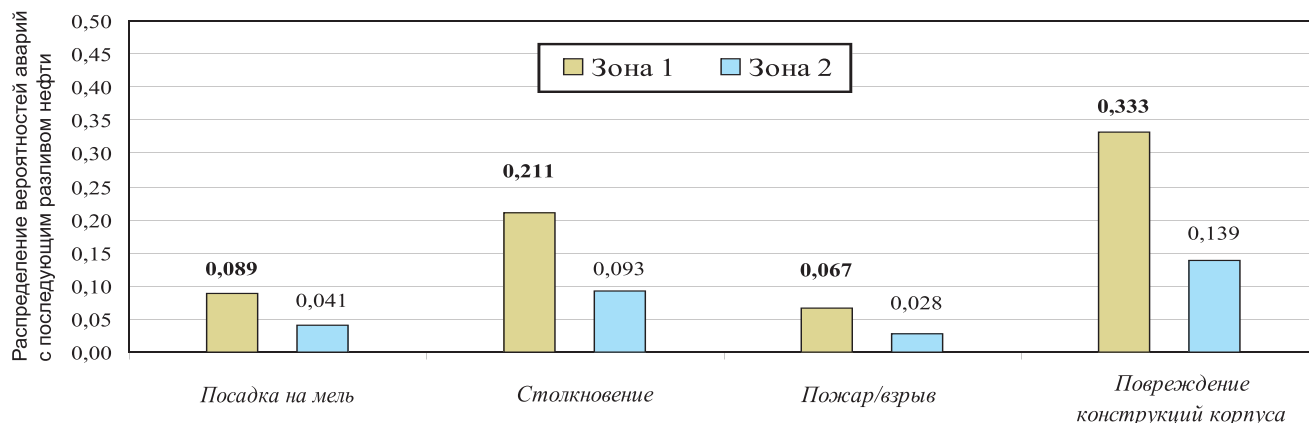


Рис. 1. Полное распределение вероятностей аварии с последующим разливом нефти

t_k — среднее время погрузо-разгрузочных работ (сут.);
 k — вероятность, определяющая, какая часть аварий танкеров вызывает аварийный разлив нефти.

Расчет вероятности аварии челночного танкера при транспортировке нефти с морской платформы

Результаты расчета вероятностей приведены в табл. 1 и 3.

Табл. 1 заполняется исходя из следующих соображений.

Вероятность разлива нефти у платформы выше, чем в зоне 2. В районе платформы возможно столкновение танкера с судами снабжения и дежурным судном, аварии при швартовке и грузовых операциях.

Значения вероятности разлива нефти в случаях посадки на мель, столкновения, пожара/взрыва, разрушения конструкций корпуса могут быть оценены по рекомендациям ITOPF (International Tanker Owners Pollution) [7; 2].

Каждому сценарию S_{zm} , приводящему к рассматриваемым авариям K_{zm} ,

эксперты (4 человека) присвоили соответствующий ранг — место по предполагаемой степени риска (табл. 2).

Проверка согласованности оценок экспертов, выполненная с применением коэффициента согласованности (конкордации) W по формуле (1) для каждой выбранной зоны z , свидетельствует о хорошей согласованности оценок экспертов. Расчетные значения вероятности, выполненные по формуле (3), представлены в табл. 3.

Распределение полной вероятности видов аварии представлено на рис. 1.

Оценки риска морских операций (МО) по выводу платформы с завода-строителя

Результаты оценки представлены в табл. 4. При проведении экспертно-статистической оценки математического ожидания вероятностей аварии воспользуемся формулой (5):

$$M_j = \sum_{i=1}^n Y_{ij} \cdot P_{ij}, \quad (5)$$

Y_{ij} — значение экспертной оценки i — эксперта для j — значения параметра;

P_{ij} — вероятность значения Y_{ij} ;

n — число экспертов, оценивающих вероятность аварии для объекта с j -м значением параметра;

$j = 1 + m$; m — число значений параметра.

Другие виды аварий, например пожары при неработающем технологическом оборудовании, практически невозможны и поэтому не рассматриваются.

В соответствии с матрицей риска [3] рассматриваемые сценарии характеризуются низким уровнем риска (табл. 5).

Экспертно-статистический подход при анализе безопасности и рисков может применяться также для расчетов рисков при проектировании морских транспортно-технологических систем и их элементов, морских страховых рисков, эксплуатации элементов систем безопасности морских платформ и т. д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Апполонов Е. М., Бойцов Г. В., Захаров А. А., Литонов О. Е., Нестеров А. Б. Проблемы повышения уровня безопасности судов и плавучих сооружений // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — Вып. 24 — СПб., 2001. — С. 30–47.
2. Информация по статистике морских аварий (базы данных по авариям WOAD, LR, DNV и др.), 1980–2007 гг.
3. Правила Морского регистра судоходства, Часть V. Оценка безопасности, 2010–2011 гг.
4. Chesnauskis M. Model for probabilistic assessment of oil outflow event caused by tanker accident. Transport, 2007. Vol. XXII. № 3. P. 187–194.
5. Kendall M. Rank correlation methods. London, 1970.
6. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. — М., 2006.
7. Hazid of Tanker Operations. Safedor, 2007.

Таблица 5. Матрица уровней риска

ПОСЛЕДСТВИЯ АВАРИЙ	ВЕРОЯТНОСТЬ АВАРИЙ				
	1 Крайне маловероятные	2 Маловероятные	3 Возможные	4 Вероятные	5 Частые
1 Пренебрежимо малые	1 1,4,5	2 6,8	3	4	5
2 Малые	2 3,4,5	4 8,9	6	8	10
3 Значительные	3 2,3,5	6 7,8	9	12	15
4 Крупные	4 5,8	8	12	16	20
5 Катастрофические	5 5	10	15	20	25

Примечание: цифры в центре каждой клетки обозначают уровень риска, а цифры в нижнем правом углу клетки — номер сценария, имеющего данный уровень риска