

БЕЗОПАСНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПЛАВУЧЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ И РАЗГРУЗКИ НЕФТИ (FPSO) В ПРОЦЕССЕ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ И ГАЗА: АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ РИСКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОЛОГИИ СИСТЕМЫ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА

OPERATION SECURITY OF A FLOATING
PRODUCTION, STORAGE AND
OFFLOADING VESSEL (FPSO) IN OIL
AND GAS PROCESSING: POSSIBLE RISK
ANALYSIS BY THE METHODS OF FUZZY
INTERFERENCE METHODS

*Asfha Amanuel Estifanos
Vaish Abhishek*

Summary. Quite a number of classifications of hazards (as a phenomenon threatening something or someone) have been drawn up by now. The “hazard” category is differentiated in accordance with various characteristics. These problems have been deeply studied in their relation to technology and industrial engineering. However, in spite of such an ample corpus of theoretical works in risk controlling, the range of unexploited hazards is still significant.

The subject of this article is a study of those risk factors that might endanger the safety of floating production, storage and offloading vessels — FPSO. The aim of this research is to assess the said type of risks, as well as to search for the ways of their minimizing, including the development of strategies to provide FPSO safe operation in solving production tasks in oil and gas processing.

Within the framework of this study the author applies fuzzy inference systems (FIS) methods to define the FPSO vulnerability to potential hazards. FIS application, in the author’s opinion, is reasonable due to the fact that this system has been developed to obtain fuzzy conclusions on the required facilities control on the basis of fuzzy conditions or prerequisites; hence it might be used in full to define and then neutralize insecurities, including those emerging under definite production and technological conditions. Thus, application of fuzzy inference systems methods has shown that the heater, the crude-oil storage tank and the crude-oil heat exchange unit are the most important factors with regard to potential risks to FPSO.

Keywords: FPSO, oil and gas processing system, risks, risk analysis and FIS.

Асфха Амануэль Эстифанос

*Аспирант, Национальный исследовательский
университет ИТМО
pressa@itmo.ru*

Вайш Абхисhek

*Д.философии в области информационной
безопасности, доцент, Индийский институт
информационных технологий, Аллахабад, Деогат
Джхалва
abhishek@iitita.ac.in*

Аннотация. К настоящему времени разработано немало классификаций опасности (как явления, представляющего угрозу чему-либо или кому-либо). Дифференциация категории «опасность» выполняется по различным признакам. Весьма глубоко указанная проблематика разработана в сфере технологии и организации промышленного производства. Однако даже при столь обширном массиве теоретических работ в области риск-контроллинга, спектр неизученных угроз по-прежнему велик.

Предметом данной статьи является рассмотрение рисков факторов, которые могут поставить под угрозу безопасность плавучей производственной системы хранения и разгрузки нефти (Floating Production, Storage And Offloading Vessel — FPSO). Целью данного исследования выступает оценка такого рода рисков, а также поиск путей их минимизации, включая выработку комплекса мер для обеспечения безопасного функционирования FPSO при выполнении производственных задач по переработки нефти и газа.

В рамках проведенного исследования автор использует методологию системы нечеткого вывода (Fuzzy Inference Systems — FIS) для определения уязвимости FPSO в отношении потенциальных угроз. Использование FIS, по мнению автора, оправдано тем, что эта система разработана для получения нечетких заключений о требуемом управлении объектом на основе нечетких условий или предпосылок и может быть в полной мере использована для определения и последующей нейтрализации уязвимостей, в том числе и в конкретных производственно-технических условиях. Так, результат применения методов системы нечеткого вывода показал, что нагреватель, резервуар для хранения сырой нефти и теплообменник для сырой нефти являются наиболее значимыми факторами с точки зрения потенциальных рисков для FPSO.

Ключевые слова: FPSO, система переработки нефти и газа, риски, анализ рисков и FIS.

Использование плавучих систем хранения и разгрузки нефти (FPSO) является одним из наиболее распространенных способов разработки морских месторождений нефти и газа. Судно, предназначенное для хранения и разгрузки, на которое поступают нефть или газ, добытые с близлежащих надводных или подводных платформ, производит первичную переработку сырья и хранит его до выгрузки на танкер или перекачки в трубопроводную магистраль. Нефтепромысловое судно состоит из ряда технических и обеспечивающих систем: подводного, корпусного и швартовочного комплексов, системы переработки нефти и газа, энергетической системы, системы противопожарной безопасности, системы хранения и транспортировки нефти, комплекса помещений для персонала и др.

Нефть и газ являются легковоспламеняющимися и взрывоопасными продуктами, поэтому систему переработки нефти и газа следует считать наиболее критичной зоной в отношении обеспечения безопасности плавсредства FPSO — здесь весьма высок риск воспламенения сырья (что может привести к пожару на судне или даже взрыву и последующей разгерметизации емкостей хранения нефтепродуктов). Так, 8 октября 2021 года Ливийская национальная нефтяная корпорация (NOC) известила мировое сообщество о разливе нефти на шельфе. Разлив произошел вокруг плавучей платформы для хранения и разгрузки продукции Farwah (FPSO) во время процесса погрузки сырья на танкер. За последние десять лет имели место несколько аварийных ситуаций подобного рода. Наиболее известная из них — взрыв FPSO в Бразилии в 2015 г., который привел к гибели 9 человек, еще 26 членов экипажа тогда пострадали [1; 2]. Таким образом, крайне важно располагать инструментарием для корректной оценки риска утечки нефти и газа в системе переработки нефти и газа на нефтепромысловых судах FPSO.

В настоящее время в самых различных секторах экономики, в связи с усложнением технологий и набирающим темп научно-техническим прогрессом, множатся угрозы стабильности функционирования промышленных систем. При этом становятся сложнее и алгоритмы диагностики риск-факторов, а значит, затрудняется выработка действенных мер предупреждения нештатных ситуаций [3]. Кроме того, всё более актуальным становится проблема нарушения прав, касающихся интеллектуальной собственности и защиты персональных данных. Поэтому для компаний столь важно располагать эффективным риск-менеджментом с целью минимизации возможного ущерба от воздействия перечисленных неблагоприятных факторов, особенно по части управления рисками в области информационной безопасности [4].

В данном исследовании авторы предлагают обратиться к модели системы нечеткого вывода. Л.А. Заде

(1965) считает теорию нечетких множеств важным инструментом количественного определения и управления неточностями в ситуациях принятия управленческих решений [5].

Нечеткие множества или нечеткие числа могут использоваться для представления неточных параметров, ими можно управлять с помощью соответствующих операций преобразований таких множеств и чисел. Результаты оценок в этом случае будут более правдоподобны, поскольку неточные параметры обрабатываются именно как неточные, а не как имеющие конкретное, установленное значение [6]. Очевидно, что нечеткие множества можно с успехом использовать для работы с неточными условиями и неточными значениями именно в управлении рисками.

Используемые исследовательские методы

Предлагаемая методика была разработана для выявления и оценки анализа рисков применительно к системам FPSO, используемых при переработке нефти и газа в Ливии (север Африканского континента). Для сбора данных и выявления отдельных угроз был составлен опросник. Такой подход обеспечивает достаточные результаты для достижения целей исследования и ответа на поставленные в его рамках вопросы. Для того чтобы более полно представить весь спектр потенциальных опасностей и точнее описать их природу в рассматриваемой отрасли, были проведены интервью с руководителями и экспертами профильных компаний. Опросные листы были направлены в общей сложности более чем 30 экспертам, работающим в этой нефтегазовой отрасли.

В процессе работы применялся также метод наблюдения, который позволил собрать и обобщить разнородную полезную информацию, позволившую глубже понять исследуемую предметную область. Полученные данные были проанализированы с использованием методов системы нечеткого множества (FIS) и ранжированы по десяти категориям:

- ◆ нагреватель;
- ◆ скруббер топливного газа;
- ◆ охладитель сырой нефти;
- ◆ резервуар для хранения сырой нефти;
- ◆ фильтр для мазута;
- ◆ сепаратор нефти и газа;
- ◆ электрическое обезвоживание;
- ◆ измерение сырой нефти;
- ◆ теплообменник для сырой нефти;
- ◆ охладитель топливного газа.

Исследовательская работа, ориентированная на демонстрацию использования метода FIS с учетом отраслевой специфики, имела следующую структуру:

Таблица 1. Переменная нечеткого множества

Лингвистическая переменная	Нечеткий рейтинг (интервал)	Графическое представление
Нечеткое множество входной переменной вероятности (P)		
Очень низкий (VL)	{0, 0, 0.2, 0.4}	
Низкий (L)	{0.2, 0.4, 0.6}	
Средний (M)	{0.4, 0.6, 0.8}	
Высокий (H)	{0.6, 0.8, 0.9}	
Очень высокий (VH)	{0.8, 0.9, 1, 1}	
Нечеткое множество входной переменной следствия (C)		
Очень низкий (VL)	{0, 0, 2, 4}	
Низкий (L)	{2, 4, 6}	
Средний (M)	{4, 6, 8}	
Высокий (H)	{6, 8, 9}	
Очень высокий (VH)	{8, 9, 10, 10}	
Нечеткий набор выходной переменной значения риска (Rv)		
Низкий (L)	{0, 0, 0.1, 0.2}	
Средний (M)	{0.1, 0.2, 0.5, 0.6}	
Существенный (S)	{0.5, 0.6, 0.8, 0.9}	
Высокий (H)	{0.8, 0.9, 1, 1}	

Таблица 2. Матрица рисков на основе приведенного выше синтаксиса

P/C	Очень низкий (VL) = 1	Низкий (L) = 2	Средний (M) = 3	Высокий (H) = 4	Очень высокий (VH) = 5
Очень низкий (VL) = 1	L=1	L	M=2	S=3	S
Низкий (L) = 2	L	L	M	S	H=4
Средний (M) = 3	L	M	S	H	H
Высокий (H) = 4	M	S	S	H	H
Очень высокий (VH) = 5	S	S	H	H	H

Таблица 3. Вес экспертов

Пол	Мужчины			Женский
	70%, N=21			30%, N=9
Средний возраст	39,36 ± 13,89			
Справочная информация FPSO	66,67%, N=20			
Опыт работы в годах	≤ 5	6–10	11–20	>20
	26,67%, N=8	40%, N=12	23,33%, N=7	10%, N=3

Таблица 4. Эксперт по оценке рисков 1

Предметы	Активы	Числовое значение			Лингвистическая переменная		
		Вероятность	Последствие	Рисковать	Вероятность	Последствие	Рисковать
H1	Обогреватель	3	3	3	0.6	6	0.7
FGS2	Скруббер топливного газа	2	2	1	0.4	4	0.1
COС3	Охладитель сырой нефти	3	3	3	0.6	6	0.7
COFT4	Резервуар для хранения сырой нефти	5	4	4	0.9	8	0.9
FOF5	Фильтр для мазута	3	1	1	0.6	2	0.1
OGS6	Сепаратор нефти и газа	1	3	2	0.2	6	0.35
ED7	Электрическое обезвоживание	3	3	3	0.6	6	0.7
COM8	Измерение сырой нефти	2	3	2	0.4	6	0.35
COHE9	Теплообменник для сырой нефти	4	5	4	0.8	9	0.9
FGC10	Охладитель топливного газа	3	2	2	0.6	4	0.35

- ♦ выявление факторов риска в системе переработки нефти и газа;
- ♦ сбор данных (аккумулирование информации, необходимой для определения вероятности и серьезности переменных риска);
- ♦ анализ рисков (применение FIS для моделирования в анализе рисков системы переработки нефти и газа);
- ♦ оценка эффективности (определение того, насколько продуктивна предлагаемая FIS-методика при решении исследовательских задач).

- ♦ валидация (подтверждение результативности избранного метода анализа рисков).

FIS-методика

Фаззификация. Первым этапом является описание набора входных данных и определение степени их принадлежности к каждому из соответствующих нечетких множеств с помощью функций принадлежности.

Вероятность (P) и последствия (C) использовались в качестве четких входных данных для FIS (это значение

Таблица 5. Оценка риска (среднее значение всех экспертов)

Предметы	Активы	Лингвистическая переменная		
		Вероятность	Последствие	Рисковать
H1	Обогреватель	0.8	8	0.9
FGS2	Скруббер топливного газа	0.4	6	0.35
COG3	Охладитель сырой нефти	0.6	6	0.7
COFT4	Резервуар для хранения сырой нефти	0.9	9	0.9
FOF5	Фильтр для мазута	0.4	6	0.35
OGS6	Сепаратор нефти и газа	0.4	4	0.1
ED7	Электрическое обезвоживание	0.6	4	0.35
COM8	Измерение сырой нефти	0.6	6	0.7
COHE9	Теплообменник для сырой нефти	0.8	9	0.9
FGC10	Охладитель топливного газа	0.4	2	0.1

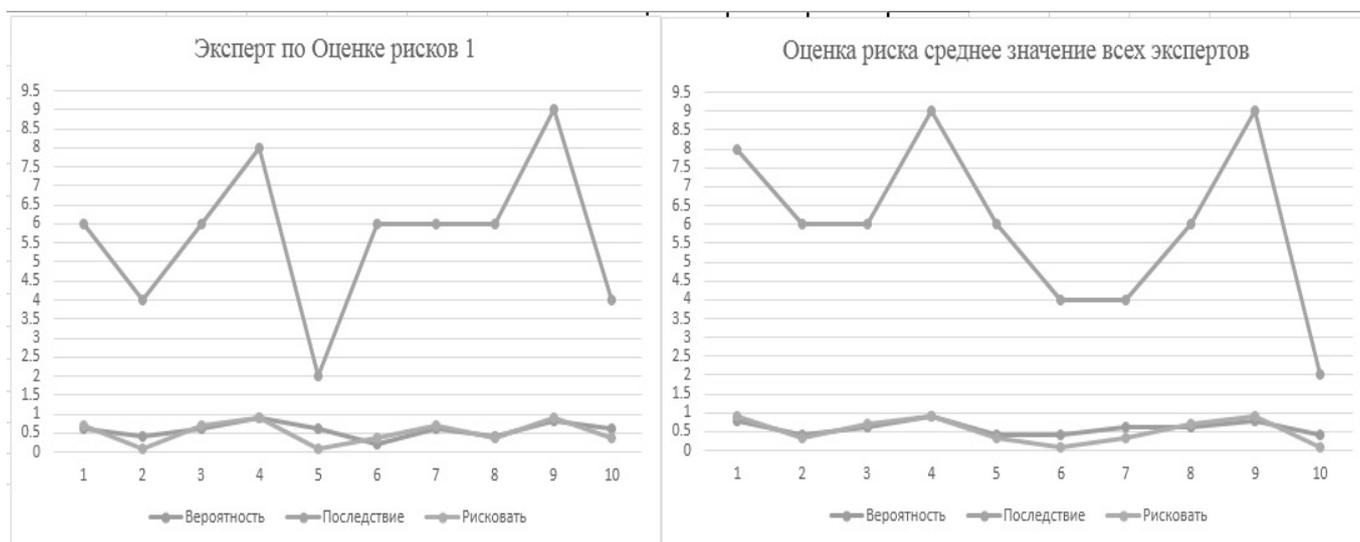


Рис. 1. Оценка рисков с помощью линейной диаграммы

определялось на основе сбора данных и экспертных заключений).

Впоследствии, определяя нечеткие функции принадлежности, было построено 25 нечетких правил для FIS.

Синтаксис выглядит следующим образом:
 ЕСЛИ (Вход 1 — функция принадлежности 1)
 и/или ЕСЛИ (Вход 2 — функция принадлежности 2)
 и/или <...> затем (Результат — это функция принадлежности к выходу)

Например: если вероятность наступления события высока, и последствия велики (высоки) по своему значению, то риск — высок.

Все нечеткие правила, функции принадлежности, нечеткие операторы и нечеткие вычисления были разработаны, реализованы и рассчитаны с использованием программного обеспечения MATLAB (MATLAB, The MathWorks, Inc., 2018).

Дефаззификация. Процесс дефаззификации, который используется для определения четкого значения из выходных данных процесса вывода, является заключительным этапом в модели механизма вывода.

Результаты исследования

Оценка рисков. Наиболее важными критериями, которые следует учитывать в процессе оценки рисков, являются:

- ◆ требования или потребности организации в области безопасности;
- ◆ затраты на реализацию контрмер;
- ◆ финансовые возможности организации;
- ◆ применимость и действенность контрмер.

При этом все процессы оценки выполняются с участием или с учетом мнения сотрудников организации.

Заключение

В данном исследовании была рассмотрена модель анализа рисков, основанная на системе нечеткого вывода (FIS), для оценки и расчета как качественных, так и/или количественных рисков, которую авторы рассматривают как наиболее надежный, гибкий и объективный способ оценки в обозначенной предметной области.

Нечеткие функции принадлежности были рассчитаны для вероятностей рисков и значений последствий. Для того, чтобы получить более надежный и объективный результат при анализе рисков, в новой модели использовалась система нечеткого вывода. Были сформулированы 25 нечетких правил принятия решений в отношении ряда выбранных рисков с использованием значений последствий, вероятностей риска и относительных значений риска. Значения воздействия на риск рассчитывались при агрегировании и дефаззификации, а в дальнейшем на основе окончательных значений риска проводилась оценка рисков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кан Дж.; Ван Л.; Ли М.; Сун Л.; Цзинь П. Анализ статистики отказов на основе байесовской теории: исследование внутренней утечки турели FPSO // Китайский океан. 2019. № 33. С. 14–25.
2. Суардин Дж. А.; Макфейт А. Дж.; Сипкема А.; Чайлдс М.; Маннан, М.С. Оценка пожаров и взрывов при разгрузке плавучих производственных хранилищ нефти и газа (FPSO): эффективный инструмент скрининга и сравнения // Процесс. СВС. Окружающая среда. 2009. № 87. С. 147–160.
3. ISO/IEC: Информационные технологии — методы обеспечения безопасности — управление рисками информационной безопасности, ISO/IEC27005:2011. Технический указатель, Международная организация по стандартизации (2011).
4. Шамала Р. Ахмад и Юсофф М. Концептуальная основа информационной структуры для оценки рисков информационной безопасности (isra) // Журнал информационной безопасности и приложений. 2013. Т. 18. № 1. С. 45–52, 2013.
5. Заде Л.А. Нечеткие множества // Информация и контроль. 1965. № 8. С. 338–353.
6. Кахраман С., Гюльбай М., Кабак О. Применение нечетких множеств в промышленной инженерии: актуальная классификация / Кахраман С. (ред.) // Нечеткие приложения в промышленном машиностроении. Спрингер: Нидерланды, 2006. С. 1–55.

© Асфха Амануэль Эстифанос (pressa@itmo.ru), Вайш Абхисhek (abhishhek@iita.ac.in).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»