

DOI: 10.17122/ntj-oil-2018-5-107-114
УДК 622.691.4-049.5

А.М. Сайфутдинов, Г.Е. Коробков (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация)

ПРИЧИНЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ АВАРИЙНОСТИ СПГ-ТАНКЕРОВ

Artur M. Saifutdinov, Gennadiy E. Korobkov (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation)

CAUSES AND CHARACTERISTICS OF LNG TANKERS ACCIDENT RATE

Введение

Настоящее время характеризуется интенсивным развитием производства, экспорта и внутреннего потребления сжиженного природного газа (СПГ) в России. Однако этот процесс не в полной мере обеспечен отечественной нормативно-технической документацией и расчетными методиками. Для обеспечения пожарной и промышленной безопасности, формирования качественных и количественных показателей риска, его оценки, в частности при морской транспортировке СПГ, необходимы опыт эксплуатации, анализ аварийности танкеров СПГ. Ввиду отсутствия достаточного практического отечественного опыта в данной отрасли в статье выполнены анализ аварийности зарубежных танкеров СПГ за 50 лет их эксплуатации.

Цели и задачи

Систематизация причин аварий танкеров, связанных и несвязанных с разливом СПГ, распределение аварий по категориям происхождения и в зависимости от конструкции танкеров и танков, расчет частоты аварий и анализ динамики их возникновения.

Результаты

Разработана методика получения исходных данных для последующей оценки рисков при морской транспортировке СПГ.

Background

The present time is characterized by intensive development of production, export and domestic consumption of liquefied natural gas (LNG) in Russia. However, this process is not fully provided with domestic regulatory and technical documentation and calculation methods. To ensure fire and industrial safety, the formation of qualitative and quantitative indicators of risk, its assessment, in particular, the sea transportation of LNG requires experience, analysis of the accident rate of LNG tankers. Due to the lack of sufficient practical domestic experience in this industry, the article analyzes the accident rate of foreign LNG tankers for 50 years of their operation.

Aims and Objectives

Systematization of the reasons of accidents of tankers, bound and unbound spill of LNG, the distribution of accidents by category of origin and depending on the design of tankers and tanks, the calculation of the frequency of accidents and the analysis of their dynamics arise.

Results

A method of obtaining initial data for the subsequent assessment of risks during sea transportation of LNG has been developed.

Ключевые слова: сжиженный природный газ, авария, аварийность, развитие, танкер, анализ, риск, событие, частота, динамика

Key words: liquefied natural gas, accident, accident rate, development, tanker, analysis, risk, event, frequency, dynamics

Ввиду отсутствия достаточного отечественного опыта эксплуатации систем морской транспортировки сжиженного природного газа (СПГ) для формирования качественных и количественных показателей риска в данной отрасли следует обратиться к зарубежным исследованиям и экспертным мнениям и оценкам [1-5].

Последние и наиболее полные данные сосредоточены в отчете сессии экспертов в области морской транспортировки СПГ под названием HAZID, результаты которой опубликованы в [6].

Первая партия СПГ была перевезена морем в танкере Methane Pioneer в 1959 году из штата Луизиана, США, в Великобританию, что послужило успешной демонстрацией возможной крупнотоннажной морской транспортировки СПГ. Позже, в 1964 году, была реализована первая коммерческая перевозка сжиженного метана из Алжира в Великобританию на специальном судне Methane Princess, что стало началом развития систем морского транспорта в целом. На настоящий момент опыт эксплуатации данных систем за рубежом составляет более 50 лет и служит индикатором безопасности данных систем.

Следует отметить, что флот танкеров СПГ за время своего существования претерпел значительные изменения - в десятки раз увеличилось количество транспортных средств, а также объемы перевозимого груза за один рейс увеличились более чем в 2 раза. Кроме того, развитие регулирования безопасности, равно как и нормативов в области проектирования, строительства и производства комплектующих, отражается на типах сценариев аварий, соответствующих современному уровню развития отрасли. В дополнение формируются новые модели торговли и

торговые пути, появляются новые владельцы, операторы и экипажи с минимальным опытом обращения с СПГ. Данные изменения свидетельствуют о том, что происходящие в прошлом аварии в настоящее время не могут иметь места, и, наоборот, в современных условиях возможны сценарии развития событий, не характерные для ранних периодов развития отрасли. В любом случае накопленный опыт должен приниматься во внимание, при этом необходимо рассматривать новые возможные сценарии аварийных ситуаций для обеспечения существующих и вновь создаваемых объектов морской транспортировки СПГ.

В настоящее время на основе открытых источников информации известно о 182 авариях с танкерами СПГ, включающих случаи наличия разливов жидкости. Данная информация была собрана из различных источников, содержащих отдельно взятые ситуации, при этом в различных источниках данные об одной и той же аварии могут различаться. Тем не менее, наиболее авторитетные источники, материалы которых могут быть приняты во внимание, следующие: Houston Law Center [7], IZAR [8], Colton Company [9], DNV [10], LRFP [11], QUEST [12] и MHIDAS [13]. Некоторые случаи несоответствия связаны с тем, что при смене собственников менялись и названия судов, поэтому одни и те же аварии обозначены под разными названиями, но по сути являются одними и теми же.

Заслуживает внимания тот факт, что очень мало случаев с фатальными последствиями для сотрудников предприятий. В литературе встречается только один случай гибели работника терминала и на аварии со смертельными исходами для команды сухогруза, столкнувшегося с СПГ-танкером.

Среди 182 указанных аварий известны случаи, напрямую не связанные с функционированием систем СПГ-танкера, но произошедшие в отношении него:

- 7 аварий, произошедших во время строительства судов;
- 7 аварий в сухих доках, произошедших в периоды технического обслуживания и ремонта судов;
- 1 авария с судном, подвергшимся нападению пиратов;
- 3 аварии во время буксировки судов;
- 3 аварии во время маневровых испытаний;
- 3 аварии с судами, находящимися на приколе.

Ряд аварий произошел с судами, построенными в 60-х годах XX века, которые значительно отличаются по конструкции от современных судов. Поэтому в некоторой степени они не являются представительными и характерными для современной отрасли, но, тем не менее, их необходимо принимать во внимание ввиду отсутствия альтернативных данных.

Таким образом, в настоящее время располагаем данными о 158 авариях для анализа рисков, связанных с морской транспортировкой СПГ. Их можно разбить на 3 группы в зависимости от конструкции танкеров (сферические, мембранного типа, либо призматические резервуары). На основе известных данных распределение аварий выглядит следующим образом:

- 58 случаев с мембранными танкерами;
- 80 случаев с танкерами сферической конструкции емкостей;
- 18 случаев с танкерами призматической конструкции емкостей;
- 2 случая с танкерами не подтвержденной конструкции.

Таким образом, без детального анализа причин и последствий аварий, опираясь только на количество происшествий, наиболее подверженной к различным воздействиям представляется конструкция танкера со сферическими емкостями (рисунок 1).

Вместе с тем, значительная часть аварий, вошедших в статистику, включает ситуации, произошедшие на раннем этапе становления отрасли, которые являются не характерными для более поздних периодов. К при-

меру, в соответствии со статистическими данными, танкеры с призматической конструкцией грузовых емкостей составляют порядка 5 % от общего числа метановозов. При этом доля в аварийной статистике составляет около 11 %, что представляется весьма значительным вкладом с учетом количества танкеров. Но при детальном рассмотрении аварий выявлено, что они в большей мере относятся к ранним периодам, когда суда с данным типом конструкций доминировали в отрасли. Более того, 16 из 18 аварий произошли до 1985 года. При распределении аварий, произошедших после 1985 года, процентное соотношение выглядит следующим образом: 61 % приходится на мембранные танкеры, 33 % на сферические и 4 % на призматические (рисунок 2).

Следовательно, можно сделать вывод, что танкеры с мембранной конструкцией грузовых резервуаров были наиболее подвержены различным воздействиям после 1985 года.

В целом, по сравнению с другими отраслями топливно-энергетического комплекса существующие опубликованные данные не дают полной и однозначной картины для оценки рисков морской транспортировки СПГ, но при этом приведенные выше данные свидетельствуют о том, что как сферические, так и мембранные танкеры (которые используются в настоящее время) подвержены внешним воздействиям с различной степенью последствий.

Обозначенные выше и известные 158 аварий можно сгруппировать по типам условий происхождения:

- 1) столкновения (с неподвижными береговыми объектами или другими судами);
- 2) посадка на мель (касание днища, полное застревание);
- 3) контакт с другими объектами (при нахождении в порту);
- 4) пожар или взрыв;
- 5) отказ оборудования или силовой установки;
- 6) сложные погодные условия;
- 7) инциденты при погрузо-разгрузочных работах (утечки, переполнение, ролlover и др.);
- 8) повреждения внутренних оболочек системы хранения СПГ.

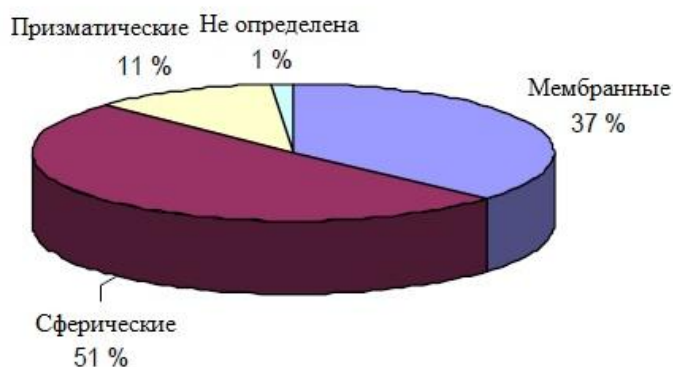


Рисунок 1. Распределение количества аварий в зависимости от конструкции танкеров СПГ



Рисунок 2. Распределение аварий в зависимости от конструкции, произошедших после 1985 года

Следует отметить, что в ряде случаев не представляется возможным однозначно отнести аварию к какой-либо одной группе, так как происходит каскад событий (плохие погодные условия, посадка на мель или столкновение, пожар).

В данном случае, как правило, авария идентифицируется по первичному событию, но встречаются и исключения.

Ниже приведены примеры аварий из разных категорий:

1) ряд аварий произошли в результате появления искры при погрузочных работах. Такая авария может быть отнесена к авариям

при погрузо-разгрузочных работах, сложным погодным условиям или пожару.

Выбор будет зависеть от мнения эксперта, проводящего анализ, но так как определяющим по последствиям является пожар, то и случай отнесен к аварии с пожаром (взрывом);

2) авария с возгоранием облака паров в результате короткого замыкания при разгрузке могла быть отнесена к авариям при погрузо-разгрузочных работах или отказу оборудования. Тем не менее, данную аварию следует относить к пожару (взрыву) как основному поражающему фактору;

3) ряд известных аварий произошли при отказе двигателей с последующими контактами, посадкой на мель и столкновением. При этом, поскольку основными событиями были посадка на мель и столкновение, соответственно к данным категориям и отнесены аварии;

4) отказы грузовых насосов, газовых компрессоров, предохранительных клапанов могут быть отнесены как к авариям с механическим оборудованием танкера, так и к авариям с системой хранения СПГ на судне ввиду того, что влияют на целостность резервуаров;

5) один случай указан как «разрушение компрессора» без раскрытия деталей происшествия. Но в данной работе отнесен к авариям с механическим оборудованием.

Распределение известных аварий представлено в таблице 1, а частота аварий определена из расчета суммарного показателя возраста флота (2838 единиц судовых лет, ориентировочное число СПГ-танкеров 400 ед., средний возраст 7,1 года).

Таблица 1. Распределение аварий по категориям

№ п/п	Категория	Число аварий	Частота возникновения аварий
1	Столкновение	19	$6,7 \times 10^{-3}$
2	Посадка на мель	8	$2,8 \times 10^{-3}$
3	Контакт	8	$2,8 \times 10^{-3}$
4	Пожар/взрыв	10	$3,5 \times 10^{-3}$
5	Отказ механического оборудования	55	$1,9 \times 10^{-2}$
6	Сложные погодные условия	9	$3,2 \times 10^{-3}$
7	Авария при погрузо-разгрузочных работах	22	$7,8 \times 10^{-3}$
8	Повреждения внутренних оболочек системы хранения СПГ	27	$9,5 \times 10^{-3}$
	Итого	158	$5,6 \times 10^{-2}$

В таблице 1 отражены данные, которые были доступны в открытых отечественных и зарубежных источниках информации в период с 1964 года по 2015 год, и в определенной степени представляет интерес распределение значений по временным интервалам развития отрасли СПГ.

Ввиду этого выделены 4 периода: с 1964 г. по 1975 г., с 1976 г. по 1985 г., с 1986 г. по 1995 г. и с 1996 г. по 2015 г. Распределение количества аварий по временным интервалам приведены в таблице 2.

В таблице 2 выделены категории аварий, характерных практически для всех грузовых судов и для судов СПГ (связанные с особенностями конструкции резервуаров и систем загрузки).

Несмотря на выделяющееся преимущество по количеству аварий в период с 1976 г. по 1985 г., следует отметить стабильность показателей в более позднее время.

В первую очередь, данная статистика связана с тем, что в указанный период в мире насчитывалось порядка 60 судов (до 1976 г. в эксплуатации находились 20 судов), и в данный период времени за рубежом формировалась нормативно-техническая база, регламентирующая проектирование, строительство и дальнейшую эксплуатацию СПГ танкеров. Кроме того, увеличение количества судов, рейсов, направлений перевозки выявляло недостатки конструкций, нехватку опыта эксплуатации метановозов, что в последующие периоды было учтено, что и способствовало уменьшению количества аварий.

Для более наглядной оценки частоты возникновения аварий распределим их количество по временным периодам с учетом наработанных судовых лет в каждый интервал времени (таблица 3).

Данные таблиц сведены в графики, представленные на рисунке 3. Видно, что наибольшая частота проявления инцидентов пришлась на период с 1976 г. по 1985 г.

Причины такого проявления были указаны ранее.

Таблица 2. Распределение аварий и инцидентов по временным интервалам

№ п/п	Категория	Период 1964-1975 гг.	Период 1964-1985 гг.	Период 1986-1995 гг.	Период 1995-2015 гг.	Период 1964-2015 гг.
Аварии, характерные для всех типов судов						
1	Столкновение	1	10	4	4	19
2	Посадка на мель	1	6		1	8
3	Контакт		4		4	8
4	Пожар	2	5		3	10
5	Отказ механического оборудования		39	7	9	55
6	Сложные погодные условия		6	3		9
	Итого	4	70	14	21	109
Аварии, характерные для судов СПГ						
7	Аварии при погрузо-разгрузочных работах	4	13	3	2	22
8	Повреждения внутренних оболочек системы хранения СПГ	7	15	5		27
	Итого	11	28	8	2	49
	Общая сумма по периодам	15	98	22	23	158

Таблица 3. Частота аварий с учетом наработки флота в каждый период

№ п/п	Период	Период 1964-1975 гг.	Период 1964-1985 гг.	Период 1986-1995 гг.	Период 1995-2015 гг.	Период 1964-2015 гг.
1	Наработка флота (судовых лет)	116	585	770	1367	2838
Аварии, характерные для всех типов судов						
2	Число аварий	4	70	14	21	109
3	Частота аварий по отношению к наработке	$3,4 \times 10^{-2}$	$1,2 \times 10^{-1}$	$1,8 \times 10^{-2}$	$1,5 \times 10^{-2}$	$3,8 \times 10^{-2}$
Аварии, характерные для судов СПГ						
4	Число аварий	11	28	8	2	49
5	Частота аварий по отношению к наработке	$9,5 \times 10^{-2}$	$4,8 \times 10^{-2}$	$1,0 \times 10^{-2}$	$1,5 \times 10^{-3}$	$1,7 \times 10^{-2}$
6	Суммарное число аварий	15	98	22	23	158
7	Суммарная частота	$1,3 \times 10^{-1}$	$1,7 \times 10^{-1}$	$2,9 \times 10^{-2}$	$1,7 \times 10^{-2}$	$5,6 \times 10^{-2}$

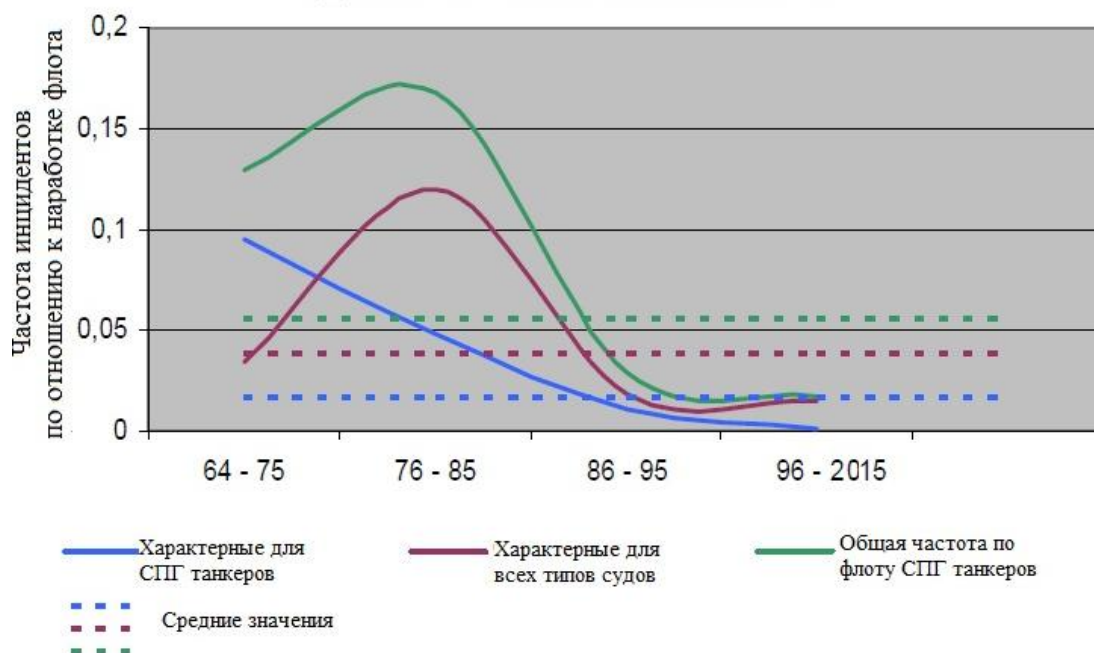


Рисунок 3. Динамика частоты аварий

Вывод

Следует отметить, что начиная с 1964 года, частота аварий, характерных непосредственно только для СПГ-танкеров, уменьшалась. Это объясняется тем, что на протяжении всего развития отрасли морской транспортировки велась непрерывная работа

по совершенствованию конструкций резервуаров хранения внутри судов, что сопровождалось и развитием нормативно-технической базы. В целом, указанные выше данные свидетельствуют о достаточно высоком уровне промышленной безопасности морской транспортировки СПГ.

Список литературы

1. NFPA 59A (National Fire Protection Agency). Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas (LNG). National Fire Protection Association, Quincy, MA. 2006.
2. SAFEDOR 2005. Risk Evaluation Criteria, SAFEDOR D.4.5.2. 2005.
3. Formal Safety Assessment - Decision Parameters Including Risk Acceptance Criteria - Submitted by Norway, MSC 72/16, International Maritime Organization, Norway, 2000.
4. Pitblado R.M., Baik J., Hughes G.J., Ferro C., Shaw S.J. Consequences of LNG Marine Incidents // CCPS Conference. Orlando, FL, 2004.
5. ABS. Consequence Assessment Methods for Incidents Involving Releases from Liquefied Natural Gas Carriers. ABSG Consulting Inc., 131-04, GEMS 1288209, 2004.
6. SAFEDOR 2005. HAZID for LNG Tankers, SAFEDOR D.4.3.1. 2005.

References

1. NFPA 59A (National Fire Protection Agency). Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas (LNG). National Fire Protection Association, Quincy, MA. 2006.
2. SAFEDOR 2005. Risk Evaluation Criteria, SAFEDOR D.4.5.2. 2005.
3. Formal Safety Assessment - Decision Parameters Including Risk Acceptance Criteria - Submitted by Norway, MSC 72/16. International Maritime Organization, Norway, 2000.
4. Pitblado R.M., Baik J., Hughes G.J., Ferro C., Shaw S.J. Consequences of LNG Marine Incidents. CCPS Conference. Orlando, FL, 2004.
5. ABS. Consequence Assessment Methods for Incidents Involving Releases from Liquefied Natural Gas Carriers. ABSG Consulting Inc., 131-04, GEMS 1288209, 2004.
6. SAFEDOR 2005. HAZID for LNG Tankers, SAFEDOR D.4.3.1. 2005.

7. LNG Safety and Security / University of Houston, Institute for Energy, Law & Enterprise. 2003.

8. IZAR, 2005. Presentation by IZAR at HAZID Workshop. Høvik, 2005.

9. <http://www.coltoncompany.com/shipbldg/worldsbldg/gas/Ingaccidents.htm>.

10. Natarajan S. LNG Accident Review. DNV Technical Report No. 2002-0789 (Internal). Det Norske Veritas, 2002.

11. LRFP. Parts Available Online at www.seasearcher.com. 2005.

12. Safety Record of LNG Tank Ships: Appendix to Hazard and Risk Assessment for a 10 MTPA LNG Plant at Wickham Point, Darwin / Bechtel Corporation for Phillips Petroleum Company Australia Pty Ltd. 2002.

13. The Major Hazard Incidents Data Service Database, UK Health and Safety Executive. <http://www.hse.gov.uk/infoserv/mhidas.htm>.

7. LNG Safety and Security. University of Houston, Institute for Energy, Law & Enterprise. 2003.

8. IZAR, 2005. Presentation by IZAR at HAZID Workshop. Høvik, 2005.

9. <http://www.coltoncompany.com/shipbldg/worldsbldg/gas/Ingaccidents.htm>.

10. Natarajan S. LNG Accident Review. DNV Technical Report No. 2002-0789 (Internal). Det Norske Veritas, 2002.

11. LRFP. Parts Available Online at www.seasearcher.com. 2005.

12. Safety Record of LNG Tank Ships: appendix to Hazard and Risk Assessment for a 10 MTPA LNG Plant at Wickham Point, Darwin. Bechtel Corporation for Phillips Petroleum Company Australia Pty Ltd. 2002.

13. The Major Hazard Incidents Data Service Database, UK Health and Safety Executive. <http://www.hse.gov.uk/infoserv/mhidas.htm>.

Авторы

• Сайфутдинов Артур Маратович
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Аспирант кафедры «Пожарная и промышленная
безопасность»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1

• Коробков Геннадий Евгеньевич, доктор
технических наук, профессор
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Профессор кафедры «Транспорт и хранение
нефти и газа»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: korobkov45@mail.ru

The Authors

• Saifutdinov Artur M.
Ufa State Petroleum Technological University
Post-graduate Student of Fire and Industrial Safety
Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation

• Korobkov Gennadiy E., Doctor of Engineering
Sciences, Professor
Ufa State Petroleum Technological University
Professor of Transport and Storage of Oil and Gas
Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: korobkov45@mail.ru