

Шевченко Э.А.

ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия им. Н.Г. Кузнецова», Санкт-Петербург, Россия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РИСКОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДВОДНЫХ ДОБЫЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Цель данной работы заключается в разработке метода определения допустимых рисков при эксплуатации подводных добычных комплексов (ПДК). Описано основное оборудование, которое может входить в состав подводных добычных комплексов. Методом анализа опасности и работоспособности (HAZOP) были выявлены причины возникновения аварийных ситуаций, а также определены основные критерии приемлемости рисков: коммерческих; экологических; связанных с воздействием на безопасность населения. Создана расчетная программа для определения этих рисков и рассчитаны риски возникновения утечки ПДК на Киринском газоконденсатном месторождении. Актуальность работы обусловлена необходимостью разработки комплексного подхода по определению рисков, так как большинство общепринятых стандартов и положений нацелены на другие области применения.

Ключевые слова: подводный добычный комплекс (ПДК), обустройство месторождения, риск, анализ уровней средств защиты LOPA, HAZOP, шельф, вероятности отказа, аварии в море, причины аварий.

Автор заявляет об отсутствии возможных конфликтов интересов.

Для цитирования: Шевченко Э.А. Определение рисков при эксплуатации подводных добычных комплексов. Труды Крыловского государственного научного центра. 2018; специальный выпуск 1: 62–66.

УДК 551.46:061.3

DOI: 10.24937/2542-2324-2018-1-S-I-62-66

Shevchenko E.

Military Education & Research Centre «N.G. Kuznetsov Naval Academy», St. Petersburg, Russia

RISK ASSESSMENT FOR OPERATION OF SUBSEA PRODUCTION SYSTEMS

The purpose of this study is to develop a method for assessment of allowable risks in operation of subsea production systems (SPS). Main hardware components of subsea production systems are described. Hazard and operability analysis (HAZOP) is used to identify sources of potential accidents as well as to define acceptable risk criteria including commercial, environmental and human safety risks. A computation program is developed to assess these risks, and leakage risks are estimated for SPS at the Kirinskoe gas condensate field. This study is important in view of the necessity to develop an integrated approach to risk assessment because most of the generally adopted standards and regulations are focused on other fields of application.

Key words: subsea production system (SPS), gas field construction, risks, layers of protection analysis LOPA, HAZOP, offshore, failure probability, accident at sea, accident causes.

Author declares lack of the possible conflicts of interests.

For citations: Shevchenko E. Risk assessment for operation of subsea production systems. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2018; special issue 1: 62–66 (in Russian).

UDC 551.46:061.3

DOI: 10.24937/2542-2324-2018-1-S-I-62-66

Подводный добычный комплекс представляет собой многокомпонентную систему, используемую для морской добычи углеводородов на глубинах до 3000 м, где обычная платформа не может быть установлена или считается невыгодной. Общая схема подводного обустройства месторождения показана на рисунке. Позиции 1–8 обозначают устьевое подводное оборудование; позиции 10–16 – трубопроводы, соединяющие скважины с основным модулем – манифольдом, в котором осуществляется первичная обработка добываемого продукта. Манифольд 9 включает все необходимое оборудование для направления потоков из выкидных линий в магистральный трубопровод, по которому продукт транспортируется либо на берег, либо на платформу, и оборудование для контроля за параметрами потока нефти или газа (давление, расход и др.).

Блок 18 осуществляет сбор сырья из группы скважин (1, 2, 3) и направляет в блок 9, откуда все направляется в магистральный трубопровод 17. Весь блок размещается на раме или платформе и защищен ограждающими панелями (сверху и с боков) от ударов падающих твердых предметов. Блок опускается на дно в полностью собранном виде. Поэтому под водой производятся только работы, связанные с присоединением трубопроводов от скважин и магистральных трубопроводов.

Риск – это сочетание вероятности события и его последствий, выраженное в виде данных о частоте опасных событий, при которых возможно нанесение вреда персоналу, окружающей среде, и материальных потерь, превышающих приемлемые величины. Оценка безопасности направлена на

соответствие проектирования, изготовления, эксплуатации и технического обслуживания ПДК требованиям национальных стандартов.

Критерии приемлемости риска определяются как максимальная вероятность, допустимая для определенной степени последствий. Т.к. последствия подразделяются на экологические, коммерческие и связанные с обеспечением безопасности, то было выделено 3 критерия приемлемости рисков: экологических, коммерческих и безопасности.

Критерии приемлемости экологических рисков (ERAC) создаются для установления связи между экологическим риском и требованиями надежности подводных уровней безопасности.

Критерии приемлемости коммерческих рисков (CRAC) имеют большое значение для производителей нефти. Несколько стихийных бедствий, связанных с разливами нефти, таких как авария на платформе Deepwater Horizon, показывают, что стоимость аварии может составлять миллиарды долларов.

Коммерческая стоимость делится на три основных составляющих:

- стоимость очистки;
- возмещение убытков;
- стоимость поврежденной техники.

Стоимость очистки сильно зависит от характеристик аварии, таких как тип разлитого сырья, его количество, местоположения месторождения, характеристики зоны поражения.

Причины возникновения аварийных ситуаций были выявлены методом анализа опасности и работоспособности (HAZOP), который используется для определения и описания опасностей и рисков на начальном этапе проектирования путем изучения аварий, произошедших ранее на объектах морской техники. Были рассмотрены основные причины повреждения трубопроводов, устьевого оборудования, манифольдов и райзеров. Их можно разделить на две основные группы: критические нагрузки и нагрузки, действующие со временем (табл. 1).

Анализ уровней надежности средств защиты (LOPA) – это полуколичественный метод оценки рисков, связанных с нежелательным событием или сценарием. Он позволяет анализировать, имеются ли достаточные меры по управлению риском или его уменьшению. Данный метод обеспечивает эффективный способ оценки необходимых требований безопасности и особенно полезен, когда подводная система слишком сложна для использования только качественного суждения, т.к. обеспечивает приемлемый результат при оценке всей системы, включая подводные сепараторы, устройства для

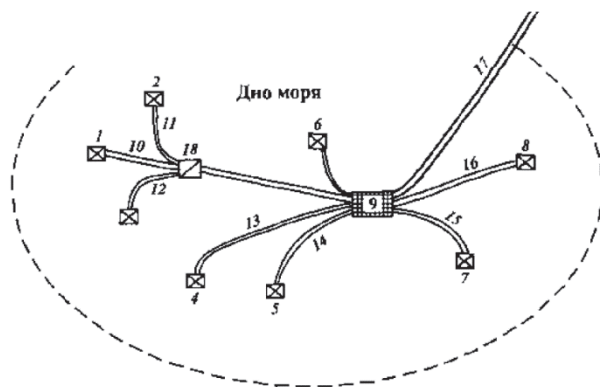


Схема обустройства нефтяного (газового) месторождения в подводном исполнении

Subsea layout of oil (gas) field facilities

компримирования и оборудование для подводного производства.

Барьеры безопасности являются важными инструментами снижения риска для окружающей среды, коммерческой деятельности и безопасности. Идентификация риска была выполнена путем изучения различных видов литературы. Показатель надежности определяется как влияние защитных уровней на общую вероятность отказа, так как большинство из них уменьшают вероятность и, следовательно, получают показатель меньше 1. Значение выше 1 фактически означает повышенный риск и может рассматриваться как форма «конструктивной ошибки». В табл. 2 приведено 13 различных уровней защиты.

Расчет рисков можно провести в 5 основных этапов:

- определение базовой вероятности отказа (на основе статистических данных);
- определение поправочного коэффициента (зависит от характеристик акватории и значения надежности для каждого уровня защиты);
- определение вероятностей с учетом модифицированного поправочного коэффициента;
- анализ последствий (на основе размеров отверстий, из которых возможна утечка, оценивается количество разлитого УВС);
- определение рисков (на данном этапе предварительно вводятся уровни защиты, предназначенные для снижения риска).

Таблица 1. Причины возникновения аварий

Table 1. Accident causes

Критические нагрузки	Нагрузки, действующие во времени
Активность тралов	Коррозия
Падение якорей/тонущих судов	Размыв грунта
Землетрясения	Потеря устойчивости
Падение различных предметов	Эрозия
Пожары и взрывы	Закупоривание трубопроводов
Умышленное повреждение	Обрастание
Столкновения	Вибрации
Гидравлический удар	Дефекты материалов
Экстремальные погодные условия	Эффект Джоуля – Томсона

Базовые вероятности отказов для подводного оборудования основаны на общих данных из известных источников, таких как OREDA (2009) и OGP (2010). Общие данные усредняются по своей природе, но дают хорошую базовую оценку, которую можно модифицировать, чтобы лучше отражать реальность.

В конкретной подводной системе вероятность отказов не будет принимать полностью общие значения. Она зависит от нескольких обстоятельств, таких как плотность движения судов, погодные условия, наличия уровней защиты, которые необходимо учитывать. Процесс определения поправочного коэффициента можно разделить на два этапа:

- необходимо умножить базовую вероятность отказа на качественную инженерную оценку;
- вероятность отказа и поправочный коэффициент умножаются на значение надежности.

Таблица 2. Краткое описание выявленных уровней защиты

Table 2. Brief description of protection layers

Уровень защиты	Функции	Значение надежности
Безопасность конструкции		
1	Защита от высокого давления	0,01
2	Защита от коррозии	Нет данных
3	Зарытые трубопроводы	0,2–2
4	Защитная конструкция	1–10
5	Сталь высокого класса в трубопроводе	0,1–1
Системы безопасности		
6	Система защиты от повышения давления	SIL1–SIL3
7	Система защиты от понижения давления	SIL1–SIL3
8	Изолирующий клапан на манифольде	SIL1–SIL3
9	Изолирующий клапан на устьевом оборудовании	SIL1–SIL3
Базовая система управления технологическим процессом		
10	Воздушная заслонка	0,1–1
Защита человека		
11	Эрозионные датчики	Нет данных
12	Аварийный сигнал по превышению давления и температуры	1–10
13	Детектор утечки	0,4–1

Результат из каждой категории затем суммируется, чтобы узнать модифицированный поправочный коэффициент.

Необходимое снижение риска (RR) может быть рассчитано путем деления вероятности конкретного события на допустимую вероятность. Значение риска ниже 1 считается приемлемым, в то время как значение, превышающее 1, указывает на необходимость дополнительных мер безопасности.

Воздействие на окружающую среду связано с количеством разлива УВС. Однако другие факторы, такие как расстояние до берега, наличие уязвимых ресурсов и температура воды также влияют на результат. Поэтому вводится фактор коррекции ущерба окружающей среде (CF_{ERAC}):

$$RR = \frac{SIL(X)}{ERAC \cdot CF_{ERAC}} \cdot [F_{W\&T} + F_{Pipeline2} + SIL(Y) \cdot (F_{Manifold} + SIL(Z) \cdot F_{Pipeline1})], \quad (1)$$

где F – вероятности утечки из каждого элемента оборудования, определенные ранее; значения SIL – введенные уровни безопасности; $ERAC$ – критерий приемлемости экологических рисков; CF_{ERAC} – необходимость дополнительных требований безопасности.

Как и при воздействии на окружающую среду, при определении общего коммерческого риска необходимо учитывать уровни защиты. Поскольку коммерческие и экологические последствия связаны с количеством разлитого УВС, эти два уравнения выглядят очень похожими:

$$RR = \frac{SIL(X)}{CRAC} \cdot [F_{W\&T} + F_{Pipeline2} + SIL(Y) \cdot (F_{Manifold} + SIL(Z) \cdot F_{Pipeline1})], \quad (2)$$

где $CRAC$ – критерий приемлемости коммерческих рисков.

В случаях, связанных с безопасностью, люди могут погибнуть непосредственно при взрыве или на этапе эвакуации. Смягчающие защитные уровни не будут иметь защитного эффекта в первой ситуации, но повысят безопасность на этапе эвакуации. Поэтому вводится Θ – доля непосредственных жертв, который относится к доле непосредственных смертельных случаев, $TMEL$ – это критерий приемлемости рисков безопасности:

$$RR = \frac{1}{TMEL} \times [SIL(X) \cdot SIL(Y) \cdot SIL(Z) \cdot (1 - \Theta) \cdot safetyrisk + \Theta \cdot safetyrisk]. \quad (3)$$

В результате проделанной работы разработан новый метод определения рисков при эксплуатации ПДК, который может быть полезен в глобальной перспективе, т.к. не ограничивается каким-либо конкретным географическим положением или конкретными условиями и может быть адаптирован к различным условиям просто путем изменения определенных входных параметров.

Разработанный метод основывается на общей вероятности утечки вместо нескольких иницирующих причин. Такой подход дает преимущество в расчете подводных систем, т.к. включает в себя всю картину риска и даже необычные инциденты, поскольку отсутствует информация о начальных вероятностях возникновения аварийных ситуаций. Но он также имеет недостатки, поскольку трудно понять, как полностью выглядит общая система и какие уровни защиты включены в данные.

Библиографический список

References

1. *Бородавкин П.П.* Морские нефтегазовые сооружения. Ч. 1. Конструирование. М.: Недра – Бизнесцентр, 2006. [*P. Borodavkin.* Offshore oil & gas facilities. Part 1. M.: Nedra-Biznestsentr, 2006. (In Russian)].
2. Правила классификации и постройки подводных добычных комплексов. Российский морской регистр судоходства. СПб., 2017. [Rules for the Classification and Construction of Subsea Production Systems. St. Petersburg, 2017. (In Russian)].
3. *Clarín C.* Application of Layers of Protection Analysis (LOPA) for subsea production systems. 2013.
4. OREDA Offshore Reliability Data: Vol. 2. Subsea Equipment. Trondheim, Norway: OREDA Participants: BP Exploration Operating Company Ltd, CococoPhillips Skandinavia AS, Eni S.p.A. Exploration. 2009.
5. OGP. (2010). Riser & pipeline release frequencies. International Association of Oil & Gas Producers. Report No. 434-4.
6. *Endresen O., Skjong R., Vanem E.* Cost-effectiveness criteria for marine oil spill preventive measures. Hovik, Norway: DNV Research & Innovation. 2006.

Сведения об авторах

Шевченко Элла Александровна, магистрант СПбГМТУ, младший научный сотрудник ЦНИ ПРФ, ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия им. Н.Г. Кузнецова». Адрес: Санкт-Петербург, Ушаковская наб., д. 17/1. Тел.: +7 (911) 102-70-38; E-mail: shevchenkoella@rambler.ru.

About the authors

Shevchenko E., Master's degree student at St. Petersburg State Marine Technical University, junior research scientist of Military Education & Research Centre "N.G. Kuznetsov Naval Academy". Address: Ushkovskaya nab. 17/1, St. Petersburg, Russia. Tel.: +7 (911) 102-70-38; E-mail: shevchenkoella@rambler.ru.

Поступила / Received: 05.03.18
Принята в печать / Accepted: 18.04.18
© Шевченко Э.А., 2018