

УДК 629.5.02+519.876

Ю.А. Харченко<sup>1</sup>, e-mail: doc.2004.8@yandex.ru; **Р.М. Тер-Саркисов**<sup>2</sup>; П.К. Калашников<sup>1</sup>, e-mail: kalashnikov\_pk@bk.ru

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина» (Москва, Россия).

<sup>2</sup> Институт проблем нефти и газа Российской академии наук (Москва, Россия).

## Живучесть плавучих нефтегазовых комплексов судового типа, предназначенных для работы в Арктической зоне

Технологии обеспечения безопасности работников и оборудования нефтегазового промысла на морских месторождениях постоянно совершенствуются. В настоящее время на Арктическом шельфе находят широкое применение плавучие нефтегазовые комплексы судового типа (ПНК СТ), обладающие бóльшей живучестью по сравнению с полупогружными платформами благодаря увеличенной остойчивости и запасу плавучести. Комплексы данного типа позволяют применять различные методы борьбы с чрезвычайными ситуациями и авариями, применение которых на платформах других типов невозможно. Однако в связи с тем, что ПНК СТ изначально представляют собой переоборудованные танкеры или имеют корпус судового типа, они также обладают рядом недостатков, связанных с особенностями их конструкции.

В статье подробно рассмотрено устройство ПНК СТ и проанализированы существующие методы обеспечения безопасности на борту комплекса и меры предотвращения и предупреждения аварийных ситуаций, приведены примеры методов и технологий, используемых различными компаниями в северных морях. По итогам проведенного анализа даны рекомендации по повышению значения параметра живучести ПНК СТ, выделены основные аспекты, на которые стоит обратить внимание при проектировании ПНК СТ. Особое внимание уделено различным мерам противопожарной безопасности в связи с повышенной по сравнению с другими типами судов величиной удельной горючей нагрузки, что увеличивает риск возникновения пожара и, как следствие, требует наличия соответствующих систем пожаротушения. В заключение делается вывод, что в связи с тяжелыми условиями северных морей ПНК СТ, участвующие в освоении Арктического шельфа, должны обладать повышенной живучестью и обеспечивать в случае возникновения чрезвычайных ситуаций, не подлежащих устранению, безопасную и своевременную эвакуацию обслуживающего персонала и экипажа комплекса.

**Ключевые слова:** плавучий нефтегазовый комплекс судового типа, Арктический шельф, безопасность, живучесть, аварии, защита.

.....

Yu.A. Kharchenko<sup>1</sup>, e-mail: doc.2004.8@yandex.ru; **R.M. Ter-Sarkisov**<sup>2</sup>; P.K. Kalashnikov<sup>1</sup>, e-mail: kalashnikov\_pk@bk.ru

<sup>1</sup> Federal State Educational Institution of Higher Education «Russian State University of Oil and Gas (National Research University) named after I.M. Gubkin» (Moscow, Russia).

<sup>2</sup> Institute Of Oil And Gas Problems Of The Russian Academy Of Sciences (Moscow, Russia).

## The Persistence of Floating Oil and Gas Marine Systems, Designed for Operation in The Arctic Zone

Technology of provision of the safety of workers and oil production equipment in offshore deposits is always improved. Currently at the area of the Arctic shelf, floating oil and gas complexes of marine type (FOC MT) are widely used. They have a higher survivability compared to semi-submersible platforms due to the increased stability and buoyancy. Complexes of such type allow applying various methods of dealing with emergencies and accidents, the use of which on the platforms of other types is impossible. However, due to the fact that FOC MT are primarily tankers or have a marine type body, they also have a number of disadvantages associated with their design features.

The article describes in detail the structure of FOC MT and analyzes the existing methods of security on the board of the complex and the prevention measures of emergency situations, examples of methods and technologies used by various companies in the Northern seas. According to the results of the analysis the recommendations were given for increasing values of the parameter of FOC MT survivability, also the main aspects were identified on which you should pay attention to when designing FOC MT. The particular attention was paid to the various fire safety measures due to the high size of the

specific fuel load compared with other types of ships, that load value increases the risk of fire and as a result, requires the availability of appropriate fire-fighting systems. Finally, it is concluded that due to the difficult conditions of Northern seas FOC ST involved in the development of the Arctic shelf should have an increased survivability and be able to ensure safe and prompt evacuation of the staff and crew of the complex in the case of emergencies that can not be eliminated.

**Keywords:** floating oil and gas complex of marine type, Arctic shelf, safety, survivability, accidents, protection.

Плавающие нефтегазодобывающие комплексы судового типа (ПНК СТ, по международной классификации – FPSO), в отличие от полупогружных TLP- и SPAR-платформ, обладают значительно большей остойчивостью и запасом плавучести, что повышает их живучесть по сравнению с другими типами платформ [1]. Большая площадь ватерлинии и ее рост при увеличении осадки в силу особенностей формы корпуса обеспечивают большой запас времени на ведение борьбы за живучесть, позволяют применять различные методы борьбы с авариями, часть которых на других типах платформ может быть неприемлема, например методы контрзатопления для восстановления остойчивости.

Поскольку ПНК СТ в массе своей являются переоборудованными танкерами или имеют корпуса судового типа, им присущи не только все преимущества корпусов судового типа, но и конструктивные недостатки танкеров, которые усугубляются повышенной нагрузкой на главную палубу от оборудования верхнего строения, неравномерной загрузкой грузовых танков, сильно разветвленной системой трубопроводов и большего в десятки раз количества соединений труб и арматуры [1].

Например, на танкере операции с балластом проводятся только в период проведения грузовых операций по предварительно рассчитанной схеме, поэтому системы управления балластом не относятся к системам первой категории важности, не имеют резервирования, процессы балластировки характеризуются низкой интенсивностью и не требуют быстродействующей системы управления [2]. Кроме того, такие операции, как правило, не проводят-



Рис. 1. FPSO P-34 во время аварии  
Fig. 1. FPSO P-34 in the time of the accident

ся в штормовых условиях. В случае ПНК СТ изменение загрузки грузовых танков происходит постоянно, постоянно же осуществляется балластировка, а в период отгрузки продукции загрузка танков и балластных цистерн существенно меняется. Если отгрузка продукции проводится в суровых арктических условиях, то определение истинных параметров посадки ПНК СТ представляет известную проблему: ее расчет по данным датчиков уровня в танках и цистернах в условиях качки отличается большой погрешностью. Поэтому даже незначительный для танкера инцидент для ПНК СТ может иметь серьезные последствия. Так, простой отказ электроэнергетической системы на бразильском FPSO P-34 в октябре 2002 г. привел к критическому крену 35° из-за нарушения работы клапана системы управления балластом (рис. 1). С FPSO было эвакуировано 76 человек персонала. Гибели FPSO удалось избежать благодаря благоприятным погодным условиям и подаче через 4 дня электропитания от судна обеспечения по аварийной схеме.

Кроме того, у ПНК СТ экстремальная для судов величина удельной горячей нагрузки, однако состав, тип, произво-

дительность и конструкция систем пожаротушения не всегда ей адекватны. Основным средством борьбы с пожаром технологического комплекса ПНК СТ является водопожарная система, но во время пожара на открытые трубопроводы водопожарной системы, проложенной через конструкции технологического модуля, воздействует тепловое излучение от открытого пламени, что приводит к пульсациям давления в трубопроводе вплоть до его разрушения. Так, на FPSO Maersk Ngujima-Yin во время пожара в модуле технологического комплекса из-за теплового воздействия в трубопроводах водопожарной системы наблюдались сильные пульсации давления и гидравлические удары, из-за чего остановились пожарные насосы с дизельным приводом [3]. Из-за пульсаций давления в напорном трубопроводе со сбоями работала система водяного орошения, а система пожаротушения мелкодисперсной водой не сработала по причине отказа клапана-регулятора давления азота после воздействия на него высокой температуры.

В конструкциях современных ПНК СТ специальной постройки уже учтены многие особенности их эксплуатации, максимально внедряются технические решения, апробированные в судостроении и выработанные по результатам анализа инцидентов на ПНК СТ, находящихся в эксплуатации. Деление ПНК СТ на противоаварийные зоны осуществляется с учетом удельной горячей нагрузки и конструкции корпуса. Применяются огне- и теплозащитные покрытия переборок, палуб, подволоков на границах противоаварийных зон, огнестойкие кабели [2]. Трассировка кабелей электрического питания и це-

Ссылка для цитирования (for citation):

Харченко Ю.А., [Ter-Sarkisov R.M.], Калашников П.К. Живучесть плавучих нефтегазовых комплексов судового типа, предназначенных для работы в Арктической зоне // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2017. № 3. С. 74–78.  
Kharchenko Yu.A., [Ter-Sarkisov R.M.], Kalashnikov P.K. The Persistence of Floating Oil and Gas Marine Systems, Designed for Operation in The Arctic Zone. Territorija «NEFTEGAZ» = Oil and Gas Territory, 2017, No. 3, P. 74–78. (In Russian)

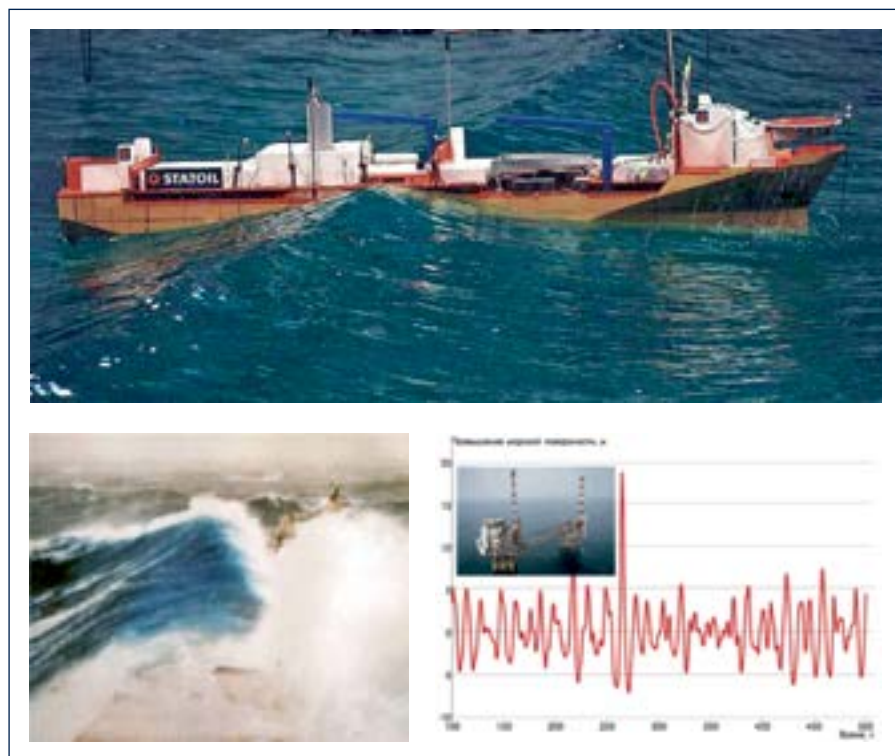


Рис. 2. Испытание FPSO в волновом бассейне (верх). Пример регистрации аномально высокой волны лазерным волнографом на стационарной нефтедобывающей платформе «Дропнер» в Северном море 01.01.1995 г. в 15:20 по Гринвичу (случай получил наименование «Новогодняя волна»). Значимая высота волны – 11,9 м, период – 10,8 с, высота гребня волны – 18,5 м, амплитуда волны – 25 м, глубина места – 70 м

Fig. 2. FPSO Test in the wave basin (top). The example of detection of an abnormally high wave by the laser wavegraph at a stationary oil platform «Dropner» in the North Sea 01.01.1995 GMT (the case was named «a new year wave»). Significant wave height is 11.9 m, the period is 10.8 s, the height of the wave crest is 18.5 m, the wave amplitude 25 m, the depth – 70 m



Рис. 3. Схема установки взрыво- и противопожарных барьеров верхних строений норвежского ПНК СТ

Fig. 3. The scheme of installation of explosion and fire barriers of the top constructions of the Norwegian FOC MT

пей управления выполняется с учетом их резервирования по разным противоаварийным зонам.

Все FPSO, эксплуатирующиеся в Северном, Норвежском морях, в северной части Атлантического океана, имеют избыточной высоты надводный борт и бак, единую электроэнергетическую систему, распределенную резервированную схему управления и электропитания ответственных потребителей. Однако длительное нахождение под волновой нагрузкой определяет повышенные проявления усталостных разрушений набора корпуса. Проектированию и моделированию нагрузок на корпус ПНК СТ должно уделяться пристальное внимание, а элементы набора корпуса должны быть рассчитаны на частые экстремальные нагрузки, в том числе возникающие при воздействии на ПНК СТ аномально высоких волн (рис. 2).

Особое внимание должно уделяться конструкции элементов набора корпуса, должны быть по максимуму исключены локальные и узловые перенапряжения. Наличие в танках ПНК СТ недостаточно очищенной от примесей продукции обуславливает высокую коррозионную нагрузку на материал корпуса, в связи с чем набор корпуса выполняется с повышенными надбавками на коррозию. Грузовые танки выполняются с плоскими стенками, с большими углами закругления.

На ПНК СТ Норвегии и Великобритании широко применяется разграничение опасных зон верхнего строения огне-взрывозащитными барьерами как в горизонтальной плоскости вдоль верхней палубы, так и в поперечном к основной плоскости направлении (рис. 3) [4]. При этом четко разграничиваются четыре области:

- жилая зона;
- зона турели;
- зона производства;
- палуба кормовой оконечности с отгрузочным устройством и факельной системой.

Особое внимание уделяется защите грузовых танков. Со стороны технологического комплекса они защищены взрыво-огнезащитной непрерывной палубой верхнего строения и взры-



во-огнезащищенной главной палубой. Главная палуба оснащена системами орошения и подачи высокодисперсной пены.

Вертикальные взрыво-огнезащитные щиты рассчитаны на отражение и рассеивание ударной волны взрыва в сторону борта и отражение теплового излучения открытого пламени. Щиты оснащаются системой водяного орошения.

Все ПНК СТ оснащены эвакуационными тоннелями из зоны производства в убежище [2]. Убежище располагается на одном уровне с диспетчерской и непрерывной палубой технологического комплекса.

Особое внимание уделяется применению на ПНК СТ быстродействующих противопожарных систем. Если реакция противопожарной системы на взрыв и возгорание не превышает 2–3 с, пожар удастся локализовать с минимальным ущербом. При этом большую роль играет наличие огне- и теплозащиты оборудования, трубопроводов, кабелей и т. д. В этом случае даже после значительного по объемам возгорания основ-

ное оборудование сохранит свою работоспособность. Таким образом, наличие дополнительной покровной огне- и теплозащиты необходимо не только для обеспечения температурного режима оборудования и защиты персонала, но и для минимизации повреждений и, как следствие, уменьшения длительности восстановительных работ.

Все ПНК СТ оснащаются вертолетными площадками с избыточной площадью, что обусловлено необходимостью посадки и взлета вертолета, в том числе в сложных погодных условиях, например при эвакуации персонала.

Наличие на ПНК СТ системы отгрузки продукции предъявляет особые требования к надежности систем динамического позиционирования, конструкции кормовой оконечности и к ее обводам, расположению в корме критического оборудования. Кормовая оконечность должна быть максимально защищена от возможных столкновений с челночным танкером, невыполнение этих требований может привести к тяжелым последствиям.

Отгрузочные устройства необходимо оснастить шлангом как можно большей длины. Система хранения шланга на катушке ограничивает его длину 140–150 м, что недостаточно для соблюдения безопасной дистанции между танкером и ПНК СТ при отгрузке при волнении моря до 4 баллов.

Безопасная дистанция определяется параметрами движения ПНК СТ и танкера, динамическими характеристиками их движительно-рулевого комплекса. Так, например, винторулевая колонка типа «Азипод», применяемая в качестве движителя на арктических челночных танкерах, может осуществить реверс за время около 60 с. Таким образом, при реверсе со скорости хода 1,5 узла из-за инерции системы динамического позиционирования, отработки команд управления движительным комплексом и инерции движения танкер водоизмещением 100 тыс. т до остановки пройдет дистанцию не менее 200 м.

Важны для безопасности ПНК СТ не только длина отгрузочного шланга, но и его внутренний диаметр, поскольку

:: normdocs

22–24 мая 2017 | Санкт-Петербург

# XI ЕЖЕГОДНЫЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ СЕМИНАР ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ

В программе семинара:

- Разработка и обновление стандартов;
- Гармонизация зарубежных стандартов;
- Авторское и патентное право;
- Приобретение и перевод зарубежных стандартов;
- Сетевые лицензии;
- Порядок закупки стандартов через конкурсные процедуры;
- Изменение и тенденции в российской стандартизации;
- Другие актуальные темы.

Ожидается участие:

Регистрация:



(812) 309-78-59    www.normdocs.ru  
(495) 223-46-76    seminar@normdocs.ru

этот параметр влияет на производительность системы отгрузки, а уменьшение времени отгрузки снижает риск столкновения ПНК СТ с челночным танкером. Особое внимание должно уделяться разработке энергетических систем ПНК СТ. Электроэнергетическая система должна быть достаточно мощной, чтобы одновременно обеспечить работу потребителей технологического комплекса и работу движительного комплекса большой мощности, способного развернуть ПНК СТ или удерживать необходимый курсовой угол при максимальном волнении, ветре или ледовой нагрузке. Невозможность развернуть платформу в безопасном направлении из-за недостаточности мощности движительного комплекса может стать причиной сильного крена, повреждения райзеров и элементов якорной системы удержания, что может привести к тяжелой аварии или гибели ПНК СТ. Мощные движительные комплексы также нужны для поддержания безопасного курсового угла при аварийном сбросе продукции на факел, взлете или посадке вертолета, а также при пожаре на верхнем строении. Наличие множества противоаварийных систем с большой потребляемой мощностью требует установки на ПНК СТ аварийных источников электроэнергии значительной мощности. При концентрации мощности аварийных источников энергии в одном агрегате средства борьбы с авариями зачастую становятся неработоспособными, что приводит, в

том числе, к затруднению или исключению возможности использования вертолетов для эвакуации персонала. Необходимо распределение мощности аварийных источников энергии по противоаварийным зонам, широкое применение агрегатов бесперебойного электропитания с аккумуляторной поддержкой большой мощности и с длительными токами разряда.

В общем виде живучесть в первую очередь ПНК СТ, построенных из переоборудованных танкеров, значительно хуже живучести нефтеналивных судов. Несмотря на перечисленные выше мероприятия по повышению уровня живучести, в настоящее время конструкции всех ПНК СТ, в том числе и специальной постройки, не предусматривают ведение длительной борьбы персонала и экипажа за живучесть. Например, температура горения при углеводородном пожаре нарушает конструкционную прочность металла несущих конструкций технологического комплекса за 30–40 мин, однако сведений по их огневой и тепловой защите на действующих ПНК СТ обнаружено не было. Также нет информации о применении на FPSO систем информационной поддержки экипажа при борьбе за живучесть (СИП БЖ).

Основные конструктивные и организационно-технические мероприятия, действующие в настоящее время, направлены на возможность быстрой локализации аварии, а в случае если это не удалось за короткое время, то

на обеспечение безопасного укрытия персонала и экипажа в убежище и осуществление его спасания.

Тактика отказа от борьбы за живучесть платформы целесообразна, когда ПНК СТ построено на базе уже находившегося в эксплуатации и окупившего затраты на его постройку танкера. Стоимость такого ПНК СТ, как правило, не превышает 800 млн долл. США. Кроме того, как правило, ПНК СТ находятся на незначительном расстоянии от берега, и благодаря использованию вертолетов можно осуществить быструю эвакуацию персонала и доставку на платформу специалистов аварийно-спасательных служб.

В случае с технологическими платформами для условий Арктического шельфа условия существенно меняются. Стоимость платформы в ледостойком исполнении может превысить 5 млрд долл. США, а ее удаленность от берега до 600 км и сложные природно-климатические условия могут исключить надежное применение вертолетов для эвакуации персонала и экипажа.

Конструкция ПНК СТ, организационные и технические мероприятия должны быть направлены не только на минимизацию вероятности возникновения аварии или инцидентов, но и обеспечивать полноценную борьбу за живучесть ПНК СТ персоналом и экипажем даже в автономном режиме, а при угрозе гибели платформы – безопасную эвакуацию персонала и покидание ПНК СТ экипажем.

### Литература:

1. Разработка производственных технологий и организационно-технологических проектов для строительства судов типа FPSO // НИР «База СПГ». Режим доступа: [http://rgmt.spb.ru/catalog/upload/files/Baza\\_SPG.pdf](http://rgmt.spb.ru/catalog/upload/files/Baza_SPG.pdf) (дата обращения: 12.01.2017).
2. Наставление по борьбе за живучесть судов Минречфлота РФ: Руководство. РосКонсульт, 2004.
3. Davison, Ian. Maersk Ngujima-Yin FPSO, Down Man Of Non-Essential Personnel Due To Loss Of Emergency Power. Maersk FPSO's, 2008. Режим доступа: [http://www.drillsafe.org.au/12-08\\_pres/DrillSafe\\_Forum\\_Dec08\\_MAERSK\\_Ian\\_Davidson\\_FPSO\\_Power\\_Interruption.pdf](http://www.drillsafe.org.au/12-08_pres/DrillSafe_Forum_Dec08_MAERSK_Ian_Davidson_FPSO_Power_Interruption.pdf) (дата обращения: 12.01.2017).
4. Clark, Judy. Canada's Terra Nova Field To Get Ice-Resistant FPSO This Fall. Oil and Gas Journal, 2001. Режим доступа: <http://www.ogj.com/articles/2001/05/canadas-terra-nova-field-to-get-ice-resistant-fpso-this-fall.html> (дата обращения: 12.01.2017).

### References:

1. Development Of Productive Technologies And Organizational And Technological Projects For The Construction Of FPSO Vessels. Research work «LNG base». Access mode: [http://rgmt.spb.ru/catalog/upload/files/Baza\\_SPG.pdf](http://rgmt.spb.ru/catalog/upload/files/Baza_SPG.pdf) (Access date: 12.01.2017). (In Russian)
2. The Manual Of Survivability Struggle Of The Vessels Of Ministry of Inland Navigation Fleet Of The Russian Federation – The Manual. RosConsult, 2004. (In Russian)
3. Davison, Ian. Maersk Ngujima-Yin FPSO, Down Man Of Non-Essential Personnel Due To Loss Of Emergency Power. Maersk FPSO's, 2008. Access mode: [http://www.drillsafe.org.au/12-08\\_pres/DrillSafe\\_Forum\\_Dec08\\_MAERSK\\_Ian\\_Davidson\\_FPSO\\_Power\\_Interruption.pdf](http://www.drillsafe.org.au/12-08_pres/DrillSafe_Forum_Dec08_MAERSK_Ian_Davidson_FPSO_Power_Interruption.pdf) (Access date: 12.01.2017).
4. Clark, Judy. Canada's Terra Nova Field To Get Ice-Resistant FPSO This Fall. Oil and Gas Journal, 2001. Access mode: <http://www.ogj.com/articles/2001/05/canadas-terra-nova-field-to-get-ice-resistant-fpso-this-fall.html> (Access date: 12.01.2017).