

7. RD-03-19—2007. *Polozhenie ob organizacii raboty po podgotovke i attestacii specialistov organizacij, podnadzornyh Federalnoj sluzhbe po ehkologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru: sb. dok.* (RD-03-19—2007. Provision about Organization of Work on Training and Certification of Specialists of the Organizations Supervised by the Federal Environmental, Industrial, and Nuclear Supervision Service: Book of Doc.). Ser. 24. Iss. 12. 7-e izd., ispr. Moscow: ZAO NTC PB, 2016. 40 p.

8. *Ob utverzhenii professionalnogo standarta «Rabotnik po montazhu i naladke podemnyh sooruzhenij»: prikaz Mintruda Rossii ot 21 dek. 2015 g. № 1056n.* (On the Approval of Professional Standard «Employee on Installation and Commissioning of Lifting Equipment»: Order of the Ministry of Labor and Social Development of the Russian Federation of Dec. 21,

2015 № 1056n.) Available at: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71214318/> (accessed: October 20, 2016).

9. *O vnesenii izmenenij v Trudovoj kodeks Rossijskoj Federacii i statii 11 i 73 Federalnogo zakona «Ob obrazovanii v Rossijskoj Federacii»: feder. zakon ot 2 maya 2015 g. № 122-FZ: prinyat Gos. Dumoj Feder. Sobr. Ros. Federacii 24 aprelya 2015 g.; odobr. Sovetom Federacii Feder. Sobr. Ros. Federacii 29 apr. 2015 g.* (On Introduction of Changes to the Labor Code of the Russian Federation and Article 11 and 73 of the Federal Law «About Education in the Russian Federation»: Feder. Law of May 2, 2015 № 122-FL: Adopted by the State Duma of the Fed. Assemb. of the Rus. Federation of April 24, 2015; Appr. by the Federation Council of the Feder. Assemb. of the Rus. Federation of April 29, 2015). *Sobr. zakonodatelstva Ros. Federacii = Set of Laws of the Rus. Federation.* 2015. № 18. Art. 2625.

УДК 622.81

© А.А. Лесконог, Г.Ю. Чуркин, 2016

Особенности и основные проблемы обеспечения промышленной безопасности терминалов сжиженного природного газа



А.А. Лесконог,
науч. сотрудник,
sinicina@safety.ru



Г.Ю. Чуркин,
канд. техн. наук,
зам. директора

Автономная некоммерческая организация «Агентство исследований промышленных рисков», Москва, Россия

Описаны ключевые тенденции развития производства сжиженного природного газа в аспекте их влияния на промышленную безопасность. Приведены специфические опасности, связанные с эксплуатацией терминала сжиженного природного газа как объекта, на котором осуществляются наиболее опасные процессы хранения, транспортирования и отгрузки продукта на танкер. Проведен анализ состояния российской и зарубежной нормативной документации в области обеспечения промышленной безопасности терминалов сжиженного природного газа. Даны рекомендации по основным направлениям развития отечественной нормативной базы в данной области.

Ключевые слова: промышленная безопасность, сжиженный природный газ, завод сжиженного природного газа, терминал, технологические трубопроводы, причал, изотермические резервуары, загрузочные рукава.

Введение

В последние десятилетия производство сжиженного природного газа (СПГ) — наиболее динамично развивающаяся отрасль нефтегазовой промышленности как в России, так и за рубежом. Производство СПГ за рубежом успешно функционирует с середины 1960-х годов. Согласно прогнозам, к 2020 г. объем производственных мощностей СПГ в мире удвоится и составит около 580 млн т в год. В России в настоящее время действует один крупнотоннажный завод по производству СПГ — «Сахалин-2» мощностью около 11 млн т СПГ в год, что не превышает 5 % мирового производства СПГ. Государственная энергетическая стратегия предусматривает наращивание этого показателя к 2035 г. до 12 % общего объема рынка, что возможно за счет увеличения производства СПГ в 5 раз и более [1]. В рамках выполнения данной задачи в настоящее время на разной стадии реализации находятся сле-

дующие российские проекты крупнотоннажных заводов по производству СПГ: «Ямал СПГ», «Дальневосточный СПГ», «Владивосток СПГ», «Печора СПГ», «Балтийский СПГ».

Сжиженный природный газ получают на заводах, производительность которых варьируется от нескольких тысяч до нескольких десятков млн т в год. Основное мировое производство СПГ сосредоточено на крупнотоннажных заводах СПГ (производительность более 3 млн т СПГ в год). Технологические процессы крупнотоннажного производства СПГ разработаны компаниями Philips, APICI, Shell, Statoil-Linde, Axens. Основной способ транспортирования готовой продукции заводов по производству СПГ — танкеры. В связи с этим крупнотоннажные заводы по производству СПГ размещаются на морском побережье или в устьях крупных рек и имеют в своем составе выносные причалы для загрузки танкеров [2].

Ключевые тенденции развития производства СПГ в аспекте их влияния на промышленную безопасность

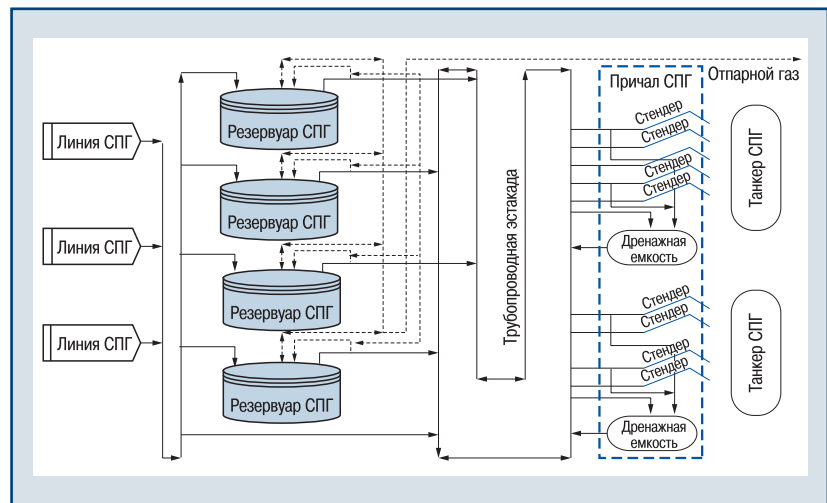
Анализ статистики аварий на объектах СПГ показывает, что технологические установки, хранилища и технологические трубопроводы СПГ менее опасны по сравнению с хранилищами нефтепродуктов и сжиженных углеводородных газов. Во многом это связано с физическими свойствами основного компонента СПГ — метана: в отличие от паров сжиженных углеводородных газов и бензина природный газ легче воздуха (относительная плотность природного газа по воздуху 0,5), что способствует его рассеиванию при утечках. Природный газ имеет более высокую температуру воспламенения по сравнению с бензином и пропаном (600 °С), более высокую минимальную энергию зажигания (0,25 МДж) и высокий нижний предел воспламенения (5–15 % при нормальных условиях), поэтому в случае утечки для возгорания требуется гораздо большая концентрация природного газа. У природного газа наименьшие значения максимальной скорости горения и максимального давления взрыва — 0,34 м/с и 0,7 МПа соответственно [3]. За рядом исключений аварии на заводах по производству СПГ имели локальный характер. Тем не менее производство, транспортирование, хранение и использование СПГ несут в себе дополнительные потенциальные опасности: обморожение тканей человека либо хрупкое разрушение материалов в результате криогенного воздействия СПГ; воздействие ударной волны, вызванное мгновенным фазовым переходом и тепловым расширением СПГ в результате взаимодействия СПГ с поверхностью пролива.

Опыт практически безаварийной эксплуатации объектов СПГ и экономические стимулы обуславливают тенденции укрупнения заводов по производству СПГ: увеличение числа технологических линий сжижения, расширение технологических блоков, повышение объемов хранения опасных веществ. Так, первый завод по производству СПГ в Малайзии, введенный в строй в 1983 г., включает три технологические линии сжижения мощностью более 8 млн т в год. В настоящее время в Малайзии функционирует комплекс по производству СПГ, состоящий из трех заводов (куда входит завод, построенный в 1983 г.), который включает восемь технологических линий сжижения совокупной производительностью около 24 млн т в год. Емкость низкотемпературных резервуаров хранения СПГ на первом коммерческом заводе в Кливленде (США) составила около 2,4 тыс. м³. В настоящее время благодаря новым конструкторским разработкам стало возможным строительство

надземных резервуаров изотермического хранения СПГ объемом более 250 тыс. м³. Увеличение мощностей заводов по производству СПГ приводит соответственно к повышению дедевейта танкеров. При этом нормативная база в области промышленной безопасности таких заводов практически не претерпевает существенных изменений, отражающих кратный рост объемов производимого на заводах СПГ, что может привести к возникновению крупных промышленных аварий. В этих условиях особую актуальность приобретают вопросы опережающего развития научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и нормативной базы в области обеспечения промышленной безопасности на заводах по производству СПГ.

Специфические опасности, связанные с эксплуатацией терминалов СПГ

Один из наиболее опасных объектов СПГ — терминал отгрузки СПГ (см. рисунок), включающий в себя резервуары, трубопроводную эстакаду, выносной морской причал и загрузочный узел.



▲ Схема терминала отгрузки СПГ

Загрузочный узел завода по производству СПГ располагается на вынесенном в море причале и соединяется с резервуарами для хранения криогенными трубопроводами. Удаленность причала от берега зависит от глубины моря в месте разгрузки — танкеры должны свободно маневрировать вблизи причала.

Терминал отгрузки СПГ предназначен для работы в двух режимах.

Режим хранения. Сжиженный природный газ поступает из резервуаров и циркулирует по трубопроводной эстакаде, коллекторам причала погрузки СПГ и возвращается в резервуары. Рециркуляция СПГ в режиме хранения необходима для поддержания системы достаточно протяженных трубопроводов в криогенном состоянии.

Режим отгрузки. Сжиженный природный газ из резервуаров перекачивается по трубопроводам на причал и отгружается загрузочными рукавами на танкер. Типовой танкер может перевозить

145–155 тыс. м³ СПГ. Как правило, каждый причал отгрузки оснащается тремя-четырьмя загрузочными рукавами. При этом два-три рукава работают для загрузки СПГ, один рукав — для обратной закачки газа в целях предотвращения образования вакуума в резервуаре. После завершения отгрузки СПГ происходит дренаж и продувка азотом загрузочных рукавов в дренажную емкость причала, откуда оставшийся продукт под давлением азота возвращается в отгрузочный трубопровод. Дренажные емкости также необходимы для использования в качестве сбросных емкостей при защите от гидроудара.

Эксплуатация терминала СПГ связана с рядом специфических опасностей:

повышенные риски возникновения аварии, в том числе и с катастрофическими последствиями, поскольку на относительно небольшой территории сосредоточены значительные объемы СПГ (емкость каждого резервуара хранения составляет в среднем 120–160 тыс. м³, емкость танкеров — 145–155 тыс. м³), а также СПГ, циркулирующего в системе протяженных трубопроводов диаметром от 400 до 1000 мм;

высокая вероятность возникновения утечек во время операций слива (налива) СПГ из-за возможного аварийного отсоединения танкера, нарушения герметичности подвижных соединений;

наличие динамического элемента — танкера, который может оказать механическое воздействие на причал при неудачной швартовке (навал судна). Кроме этого, вследствие подверженности ветровой и волновой нагрузкам танкер способен к загрузке СПГ в ограниченном диапазоне перемещений. Выход за границы допустимого диапазона перемещений требует немедленной остановки перекачки СПГ и отсоединения судна от загрузочных рукавов причала;

возможность переполнения резервуаров (на судне или берегу);

все опасные факторы, связанные с изотермическим хранением СПГ в резервуарах (в том числе рост внутреннего давления, разрушение резервуара при самопроизвольном перемещении слоев (ролловер), нарушение теплового режима работы резервуаров, увеличение нагрузок на корпус, обмерзание конструкций при деградации теплоизоляционных конструкций, низкотемпературное охрупчивание, переполнение, разгерметизация трубопроводной обвязки и др.) [4];

возможность гидравлического удара в протяженных трубопроводных системах причала;

отсутствие альтернативных путей эвакуации персонала с морского причала в случае аварии на участке выхода причала на берег.

Особенно остро вопрос обеспечения промышленной и пожарной безопасности возникает при проектировании плавучих заводов по сжижению газа (FLNG), совмещающих на ограниченной пло-

щадке морской платформы функции завода по производству СПГ и терминала отгрузки.

Анализ состояния российской и зарубежной нормативных баз в области обеспечения промышленной безопасности терминалов СПГ

Рассматривая вопрос об обеспеченности нормативными требованиями в области промышленной безопасности терминалов СПГ, необходимо отметить, что проблемы нормативной базы начинаются с терминологии.

В российском техническом регламенте [5] дано определение терминала СПГ, оно наиболее полно и точно описывает рассматриваемый объект: «специализированный район в порту, оборудованный для грузовых операций, включающий ряд причалов и прилегающую к ним территорию с сооружениями и устройствами для обработки различных грузов». В то же время во многих нормативных документах, проектной документации на заводы по производству СПГ понятие «терминал» используется реже, чем понятия, например, «причал», «зона перекачки» и др.

Наиболее широко распространенные зарубежные стандарты в области СПГ — стандарты [6–9].

В стандарте NFPA 59A [6] содержатся общие требования к производству, хранению и обращению СПГ, в том числе и к терминалам СПГ. Стандарт ASME B31.3—2008 [9] рассматривает вопросы проектирования криогенных технологических трубопроводов.

Европейский стандарт BS EN 1473:2007 [7] охватывает требования безопасности и экологические аспекты, подлежащие учету при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов СПГ. Документ в значительной степени основан на методологии анализа рисков. Другой европейский стандарт — BS EN ISO 28460:2010 [8] — определяет взаимодействие «берег — судно». Также в документе рассматриваются зоны безопасности для причала с учетом размещения танкера СПГ.

В США в области проектирования изотермических резервуаров СПГ действуют стандарты API STD 620 (приложение Q) [10], API STD 625 [11]. В Европе нормы проектирования изотермических резервуаров устанавливает BS EN 14620:2009 [12]. В данных документах детально изложены требования к проектированию, конструкции современных изотермических резервуаров, в том числе к металлическим, железобетонным и теплоизоляционным материалам.

Требования к деятельности перевозчика СПГ регулируются положениями кодекса [13]. Дополнительные требования безопасности к причальным сооружениям, функциям систем безопасности изложены в стандартах, изданных Международным обществом газовозов и операторов терминалов (SIGTTO) и Международным морским форумом нефтяных компаний (OCIMF).

Ряд стран разработали собственные стандарты в области СПГ, например, Канада — CSA Z276—15 [14]. При этом отметим, что в большинстве случаев стандарты стран являются национальной адаптацией и дополнением международно признанных стандартов.

Нефтегазовые компании, работающие в отрасли производства СПГ, такие как Shell, Total, разработали собственные базы корпоративных стандартов, в которых проводят апробацию передовых технологий и ноу-хау.

В России практически отсутствуют нормативные документы в области промышленной безопасности терминалов СПГ. Общие требования безопасности для всех терминалов содержатся в техническом регламенте [5], при этом, согласно п. 211 данного регламента, причал «должен отвечать требованиям законодательства Российской Федерации в области промышленной безопасности».

Требования к проектированию причальных сооружений содержатся в РД 31.31.55—93 [15], однако в документе отсутствуют требования к оборудованию и устройствам площадки слива (налива), а также не учтена специфика СПГ.

Первый российский нормативный документ, разработанный специально для проектирования промышленных объектов, связанных с производством, хранением и реализацией СПГ, — ВНТП-51-1—88 [16]. Однако данный документ определяет только требования к средствам для налива и отгрузки СПГ в автоцистерны, что не соответствует технологии крупнотоннажного производства СПГ с отгрузкой товарного продукта на танкеры.

В рамках работы технического комитета Российской Федерации по стандартизации «Техника и технологии добычи и переработки нефти и газа» в 2015 г. принято два национальных стандарта [17, 18]. Так, ГОСТ Р 56352—2015 [17] разработан с учетом нормативных положений NFPA 59A [6] и не включает требования к причалам налива СПГ; ГОСТ Р 56400—2015 [18] основан на требованиях документа Американского бюро судоходства [19] и не распространяется на береговые терминалы СПГ.

При анализе отечественных нормативных документов выявлена тенденция разработки российских национальных стандартов в области СПГ на основе зарубежных аналогов. Это приводит, во-первых, к сложности применения разработанных отечественных стандартов в силу отличий в методологии проектирования и оценки соответствия проектной документации в России и за рубежом. Во-вторых, обращает на себя внимание разнородный состав зарубежных стандартов, которые принимаются за основу при создании российских аналогов, что приводит к снижению качества разработанных стандартов из-за отсутствия системности и возможных противоречий в требованиях. В-третьих, используемые при разработке наци-

ональных стандартов зарубежные нормативные документы, как правило, не содержат требований безопасности для заводов по производству СПГ, адаптированных к сложным природно-климатическим условиям Российской Арктики и Дальнего Востока. При этом недостаточно учитывается уже накопленный собственный опыт в области СПГ, полученный при проектировании и разработке специальных технических условий для российских заводов по производству СПГ, таких как «Сахалин-2», «Ямал СПГ», «Владивосток СПГ» и др.

Проведенный анализ позволил выявить отсутствие единого документа по промышленной безопасности терминалов СПГ, охватывающего хранение, транспортирование и отгрузку СПГ на танкер, а также все аспекты безопасности: минимальные расстояния от терминала СПГ до завода и других смежных объектов, между местами отгрузки СПГ на причале; противоаварийная защита терминала СПГ, требования к взаимодействию систем противоаварийной защиты (завод, терминал, танкер); надежность оборудования терминала СПГ и применяемых материалов; мониторинг и контроль состояния оборудования и вспомогательных систем; контроль взаимного положения танкера и причальной линии; защита протяженных технологических трубопроводов терминала от гидравлического удара; обнаружение утечек СПГ, загазованности и пожара; противопожарная защита терминала.

Зарубежные стандарты в основном нормируют требования промышленной безопасности к отдельным участкам терминала СПГ или аспектам безопасности. Поэтому, учитывая отмеченные ранее специфические опасности терминалов СПГ, вопрос разработки нормативного документа (документов) по промышленной безопасности для данного участка является приоритетным.

Заключение

Таким образом, в настоящее время российская отрасль производства СПГ остро нуждается в полной и актуальной нормативной базе в области обеспечения промышленной безопасности терминалов СПГ, комплексно и с единых системных позиций устанавливающей нормативные требования к процессам хранения СПГ, транспортирования СПГ на причал и отгрузки товарного продукта в резервуары танкера. При разработке и совершенствовании такого нормативного документа (или документов) необходимо использовать взаимосвязанную систему нормативных требований, разработанных на основе зарубежных стандартов, а также опыт, полученный при проектировании и эксплуатации российских заводов по производству СПГ.

Список литературы

1. Звуйковский Н. Сдержанный оптимизм. Обзор российских СПГ-проектов// Oil&Gas Journal Russia. — 2016. — № 3 (102). — С. 50—54.

2. Федорова Е.Б. Современное состояние и развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии и оборудование. — М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2011. — 159 с.

3. Рачевский Б.С. Сжиженные углеводородные газы. — М.: Изд-во «НЕФТЬ и ГАЗ», 2009. — 640 с.

4. Иванцова С.Г., Рахманин А.И. Идентификация опасностей при оценке риска изотермического хранения сжиженных газов// Управление качеством в нефтегазовом комплексе. — 2012. — № 4. — С. 36–40.

5. Технический регламент о безопасности объектов морского транспорта: постановление Правительства Российской Федерации от 12 авг. 2010 г. № 620// Собр. законодательства Рос. Федерации. — 2010. — № 34. — Ст. 4475.

6. NFPA 59A. Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas (LNG). — 2015. — 83 p.

7. BS EN 1473:2007. Installation and equipment for liquefied natural gas. Design of onshore installations. — 2007. — 134 p.

8. BS EN ISO 28460:2010. Petroleum and natural gas industries. Installation and equipment for liquefied natural gas. Ship-to-shore interface and port operations. — 2011. — 40 p.

9. ASME B31.3—2008. Process Piping. ASME Code for Pressure Piping, B31. — 2008. — 386 p.

10. API STD 620. Design and Construction of Large, Welded, Low-Pressure Storage Tanks. — 2013. — 277 p.

11. API STD 625. Tank Systems for Refrigerated Liquefied Gas Storage. — 2010. — 74 p.

12. BS EN 14620:2009. Design and manufacture of site built, vertical, cylindrical, flat-bottomed steel tanks for the storage of refrigerated, liquefied gases with operating temperatures between 0 °C and –165 °C. — 2006.

13. Electronic Code of Federal Regulations. URL: <http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=951597db937f80a9782f517fe815e7bf&mc=true&node=pt33.2.127&rgn=div5> (дата обращения: 17.09.2016).

14. CSA Z276—15. Liquefied Natural Gas (LNG) — Production, Storage, and Handling. — 2015. — 150 p.

15. РД 31.31.55—93. Инструкция по проектированию морских причальных и берегоукрепительных сооружений: введ. 01.06.1993. — М., 1996. — 165 с.

16. ВНТП-51-1—88. Ведомственные нормы технологического проектирования установок по производству и хранению сжиженного природного газа, изотермических хранилищ и газозаправочных станций (временные). — М.: Мингазпром СССР, 1988. — 63 с.

17. ГОСТ Р 56352—2015. Нефтяная и газовая промышленность. Производство, хранение и перекачка сжиженного природного газа. Общие требования безопасности: введ. 01.09.2015. — М.: Стандартинформ, 2015. — 29 с.

18. ГОСТ Р 56400—2015. Нефтяная и газовая промышленность. Проектирование и эксплуатация морских терминалов сжиженного природного газа. Общие требования: введ. 01.01.2016. — М.: Стандартинформ, 2015. — 28 с.

19. ABS—2004*. Offshore LNG terminals. Guide for building and classing, NEQ. — 2004. — 71 p.

sinicina@safety.ru

Материал поступил в редакцию 8 ноября 2016 г.

«Bezopasnost Truda v Promyshlennosti»/ «Occupational Safety in Industry», 2016, № 12, pp. 57–62.

Specifics and the Main Problems of Ensuring Industrial Safety of Liquefied Natural Gas Terminals

Information about the Author

A.A. Leskonog, Research Associate, sinicina@safety.ru

G.Ju. Churkin, Candidate of Technical Sciences, Deputy Director

ANO «Industrial Risk Research Agency», Moscow, Russia

Abstract

The key tendencies in the development of liquefied natural gas production in terms of their influence on industrial safety are described in the Article. The specific hazards are given related to the operation of liquefied natural gas terminal as an object, at which the most dangerous processes of storage, transportation and shipment of the product to the tanker are implemented.

The analysis of Russian and international normative documents in the field of ensuring industrial safety of liquefied natural gas terminals is presented. The task emerges concerning the development of complete and systematic normative base for the liquefied natural gas production plants, and primarily, for liquefied natural gas terminals. This is related to practically complete absence of national normative documents in this area, as well as the complexity of the direct application of the international standards at designing of the Russian objects of liquefied natural gas due to differences in methodology of design and conformity assessment of design documentation in Russia and abroad. At the development and improvement of the normative documents it is required to use an interrelated system of normative requirements developed on the basis of international standards, as well as experience gained at the design and operation of the Russian liquefied natural gas production plants.

Key words: industrial safety, liquefied natural gas, liquefied natural gas plant, terminal, process pipelines, jetty, cryogenic tanks, loading arms.

References

- Zvujkovskij N. Oil&Gas Journal Russia. 2016. № 3 (102). pp. 50–54.
- Fjodorova E.B. *Sovremennoe sostojanie i razvitie mirovoj industrii szhizhennogo prirodnogo gaza: tehnologii i oborudovanie* (Current Status and Development of the World Industry in the Field of Liquefied Natural Gas: Technology and Equipment). Moscow: RGU nefiti i gaza imeni I.M. Gubkina, 2011. 159 p.
- Rachevskij B.S. *Szhizhennye uglevodородные газы* (Liquefied Petroleum Gases). Moscow: Izd-vo «NEFT i GAZ», 2009. 640 p.
- Ivanova S.G., Rahmanin A.I. *Upravlenie kachestvom v neftegazovom komplekse = Quality Control in Oil and Gas Complex*. 2012. № 4. pp. 36–40.
- Tehnicheskij reglament o bezopasnosti obektov morskogo transporta: postanovlenie Pravitelstva Rossijskoj Federacii ot 12 avg. 2010 g. № 620 (Technical Regulation on Safety of Marine Transport Objects: Decree of the Government of the Russian Federation of August 12, 2010 № 620). *Sobr. zakonodatelstva Ros. Federatsii = Collection of Legislative Acts of the Russian Federation*. 2010. № 34. Art. 4475.
- NFPA 59A. Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas (LNG). 2015. 83 p.
- BS EN 1473:2007. Installation and equipment for liquefied natural gas. Design of onshore installations. 2007. 134 p.
- BS EN ISO 28460:2010. Petroleum and natural gas industries. Installation and equipment for liquefied natural gas. Ship-to-shore interface and port operations. 2011. 40 p.
- ASME B31.3—2008. Process Piping. ASME Code for Pressure Piping, B31. 2008. 386 p.
- API STD 620. Design and Construction of Large, Welded, Low-Pressure Storage Tanks. 2013. 277 p.
- API STD 625. Tank Systems for Refrigerated Liquefied Gas Storage, 2010. 74 p.
- BS EN 14620:2009. Design and manufacture of site built, vertical, cylindrical, flat-bottomed steel tanks for the storage of refrigerated, liquefied gases with operating temperatures between 0 °C and –165 °C. 2006.
- Electronic Code of Federal Regulations. Available at: <http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=951597db937f80a9782f517fe815e7bf&mc=true&node=pt33.2.127&rgn=div5> (accessed: September 17, 2016).
- CSA Z276—15. Liquefied Natural Gas (LNG) — Production, Storage, and Handling. 2015. 150 p.
- РД 31.31.55—93. *Instrukcija po projektovaniju morskikh prichalnih i beregoukrepitelnyh sooruzhenij: vved. 01.06.1993* (Design Guideline for Sea Berthing and Beaching Facilities: Enacted 01.06.1993). Moscow, 1996. 165 p.
- VNTP-51-1—88. *Vedomstvennye normy tehnologicheskogo projektirovanija ustanovok po proizvodstvu i hraneniju szhizhennogo prirodnogo gaza, izotermicheskikh hranilishh i gazozapravochnyh stancij (vremennye)* (Departmental Norms of Process Design for Production and Storage of Liquefied