
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ**



**НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

ГОСТ Р EN 1160-201_
*(проект,
первая редакция)*

СЖИЖЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ ГАЗ

Общая характеристика

EN 1160:1996

Installations and equipment for liquefied natural gas –

General characteristics of liquefied natural gas

(IDT)

Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его утверждения

Москва

Стандартинформ

201_

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Обществом с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ» (ООО «Газпром ВНИИГАЗ») на основе собственного аутентичного перевода на русский язык стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 52 «Природный и сжиженные газы»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № _____ от «__» _____ 201_ г.

4 Настоящий стандарт идентичен европейскому региональному стандарту ЕН 1160:1996 «Установки и оборудование для сжиженного природного газа – Общая характеристика сжиженного природного газа» (EN 1160:1996 «Installations and equipment for liquefied natural gas – General characteristics of liquefied natural gas»)

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им национальные стандарты Российской Федерации, сведения о которых приведены в справочном приложении ДА

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0-2012 (раздел 8). Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в годовом (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок - в ежемесячно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования – на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет (gost.ru)

©ФГУП «Стандартинформ», 201_

Настоящий стандарт не может быть воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения национального органа Российской Федерации по стандартизации

Содержание

Введение.....	IV
1 Область применения.....	1
2 Нормативные ссылки.....	1
3 Термины и определения.....	2
4 Сокращения.....	2
5 Общие характеристики СПГ.....	3
5.1 Вводные положения.....	3
5.2 Свойства СПГ.....	3
5.3 Испарение СПГ.....	5
5.4 Разлив СПГ.....	6
5.5 Воспламенение.....	8
5.6 Безопасное хранение	9
5.7 Другие физические свойства.....	9
6 Материалы для технологического оборудования.....	12
6.1 Материалы, используемые в индустрии СПГ.....	12
6.2 Термические напряжения.....	15
7 Требования безопасности и охраны труда.....	15
7.1 Воздействие холода.....	16
7.2 Воздействие газа.....	17
7.3 Меры противопожарной безопасности и защиты.....	18
7.4 Запах.....	18
Приложение А (справочное) Библиография.....	19
Приложение В (справочное) Материалы, рекомендуемые к использо- ванию при работе с СПГ.....	22
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным национальным стандартам Российской Федерации.....	25

Введение

В связи с активным развитием отечественного рынка сжиженного природного газа и строительством терминалов по сжижению и отгрузке СПГ, проблемы связанные с безопасностью и надежностью материалов и оборудования, применяемых в индустрии сжиженного природного газа, особенно актуальны.

На сегодняшний день в Российской Федерации активно разрабатывается нормативная база для метрологического и методического обеспечения измерений количества и качественных показателей сжиженного природного газа при его производстве, хранении, транспортировании и отгрузке потребителям. В связи с этим необходима разработка комплекса национальных стандартов, в которых рассматриваются физико-химические свойства сжиженного природного газа, а также устанавливающих процедуры отбора проб и методы измерения физико-химических свойств СПГ, гармонизированных с действующими международными стандартами и учитывающих современные научно-технические достижения в данной области.

Разработка настоящего стандарта обусловлена необходимостью обеспечения безопасности персонала и оборудования, задействованных при производстве, хранении и транспортировании сжиженного природного газа, а также потребностью в информации по свойствам материалов, применяемых в индустрии СПГ.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СЖИЖЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ ГАЗ

Общая характеристика

Installations and equipment for liquefied natural gas –

General characteristics of liquefied natural gas

Дата введения – _____

1 Область применения

Настоящий стандарт содержит общие характеристики сжиженного природного газа (СПГ) и материалов, используемых в индустрии СПГ. Настоящий стандарт также содержит сведения по вопросам техники безопасности и охраны труда при работе с СПГ. Он предназначен для использования в качестве справочного документа при выполнении требований других стандартов CEN/TC 282 Установки и оборудование для сжиженного природного газа.

Настоящий стандарт предназначен для использования в качестве справочного материала при проектировании, строительстве, модернизации, реконструкции, ремонте и эксплуатации установок СПГ.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ЕН 1473:2007 Установки и оборудование для сжиженного природного газа – Проектирование береговых установок (EN 1473:2007 Installation and equipment for liquefied natural gas – Design of onshore installation)

П р и м е ч а н и е – При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применен следующий термин с соответствующим определением:

3.1 сжиженный природный газ: Бесцветная жидкость, состоящая в основном из метана, которая может содержать небольшие количества этана, пропана, азота или других компонентов, содержащихся в природном газе.

П р и м е ч а н и е – Сжиженным считают природный газ, переведенный в жидкое состояние после специальной подготовки с целью его хранения или транспортирования.

4 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

- ВИКЖ – взрывное испарение кипящей жидкости;
- ГСССД – Государственная служба стандартных справочных данных;
- МФП – мгновенный фазовый переход;
- ПППЭ – Поверхностная плотность потока энергии;
- СПГ – сжиженный природный газ.

5 Общие характеристики СПГ

5.1 Вводные положения

Персонал, задействованный в работах с СПГ, должен быть ознакомлен с характеристиками самого СПГ, а также паров СПГ.

Опасными производственными факторами при работе с СПГ являются следующие:

а) СПГ - криогенная жидкость. При атмосферном давлении СПГ закипает при температуре около минус 160 °С. При этой температуре пары СПГ имеют большую плотность, чем окружающий воздух (см. примеры в таблице 1);

б) весьма незначительное количество жидкого СПГ при испарении превращается в большой объем природного газа. Один объем СПГ может давать около 600 объемов природного газа (см. примеры в таблице 1);

с) природный газ (пары СПГ), как и другие газообразные углеводороды, горюч. Концентрационные пределы воспламенения природного газа (паров СПГ) в смесях с воздухом составляют от 5 % до 15 % газа по объему.

Примечание – В Российской Федерации приняты также значения концентрационных пределов воспламенения природного газа (паров СПГ) в смесях с воздухом, составляющие 4,4 (нижний) и 17,0 (верхний) % об., соответственно.

5.2 Свойства СПГ

5.2.1 Состав

СПГ состоит из смеси углеводородов, состоящей преимущественно из метана, которая также может содержать незначительные количества этана, пропана, азота и других компонентов, обычно присутствующих в природном газе.

Физические и термодинамические свойства метана и других компонентов природного газа описаны в справочной литературе (см. приложение А) и в сборниках термодинамических свойств.

Примечание – В Российской Федерации свойства отдельных компонентов природного газа описаны в таблицах стандартных справочных данных серии ГСССД.

В настоящем стандарте принимается, что СПГ содержит не менее 75 % метана и не более 5 % азота. Не смотря на то, что основным компонентом СПГ является метан, не допускается считать СПГ чистым метаном для оценки его физико-химических свойств.

При отборе проб СПГ принимают специальные меры для получения представительных проб, исключаящие получение недостоверных результатов анализа из-за эффектов неоднородного и/или неполного испарения пробы СПГ. Широко применяется метод отбора проб малого потока СПГ с непрерывным испарением при помощи специального устройства (испарителя), которое предназначено для обеспечения представительности пробы регазифицированного СПГ с исключением неоднородного и/или неполного испарения пробы СПГ. Другой метод – это отбор пробы непосредственно из установки регазификации СПГ. Эта проба затем может быть проанализирована с использованием обычных газохроматографических методов, например, по ISO 6974.

5.2.2 Плотность

Плотность СПГ зависит от компонентного состава и колеблется в диапазоне значений от 430 кг/м³ до 470 кг/м³, но в отдельных случаях может достигать 520 кг/м³. Плотность СПГ является функцией температуры жидкости с температурным градиентом примерно 1,35 кг/(м³·°C). Плотность СПГ может быть измерена непосредственно, но, как правило, рассчитывается по данным о компонентном составе СПГ, который определяют путем газохроматографического анализа. Для определения плотности СПГ рекомендуется метод, установленный в ISO 6578.

Пр и м е ч а н и е – Указанный метод, известен как метод Клозека - Мак-Кинли.

5.2.3 Температура

СПГ, как правило, имеет температуру кипения в диапазоне от минус 166 °C до минус 157 °C при атмосферном давлении в зависимости от компонентного состава. Изменение температуры кипения в зависимости от давления составляет около $1,25 \cdot 10^{-4}$ °C/Па. Температура СПГ обычно измеряется с помощью

медь/медьникелевых термопар или с помощью платиновых термометров сопротивления, например, указанных в ISO 8310.

5.2.4 Примеры составов СПГ

Примеры типичных составов СПГ и соответствующих физико-химических свойств приведены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1 – Примеры составов и свойств СПГ

Свойства СПГ в точке кипения при нормальном давлении	Пример 1	Пример 2	Пример 3
Молярная доля компонента, %			
Азот	0,50	1,79	0,36
Метан	97,50	93,90	87,20
Этан	1,80	3,26	8,61
Пропан	0,20	0,69	2,74
и-Бутан	-	0,12	0,42
н-Бутан	-	0,15	0,65
Пентаны	-	0,09	0,02
Молекулярная масса, кг/кмоль	16,41	17,07	18,52
Температура кипения, °С	-162,6	-165,3	-161,3
Плотность, кг/м ³	431,6	448,8	468,7
Объем газа (при 0 °С и 101,325 кПа), получаемый из объема СПГ, м ³ /м ³	590	590	568
Объем газа (при 0 °С и 101,325 кПа), получаемый из тонны СПГ, м ³ /10 ³ кг	1367	1314	1211

П р и м е ч а н и е – В Российской Федерации приняты стандартные условия измерения объема газа равные 20,0 °С и 101,325 кПа и для приведения к ним значений объемов газа, указанных в таблице 1, необходимо умножить значения объемов на 0,9313. В случае плотности, наоборот, необходимо значение из таблицы 1 разделить на 0,9313.

5.3 Испарение СПГ

5.3.1 Физические свойства отпарного газа

СПГ хранится в виде кипящей жидкости в больших теплоизолированных емкостях. Любые притоки тепла извне вызывают испарение некоторого количества

жидкости в газовую фазу. Образующийся при этом газ называют отпарным газом. Состав отпарного газа зависит от состава равновесной с ним жидкости и термобарических условий. Например, отпарной газ может содержать 20 % азота, 80 % метана и следы этана. Содержание азота в отпарном газе может быть примерно в двадцать раз выше, чем в исходном СПГ.

Поскольку в газовую фазу испаряются преимущественно азот и метан, оставшаяся жидкость содержит большую долю высших углеводородов. Отпарные газы при температурах ниже минус 113 °С для чистого метана и минус 85 °С для смеси 80 % метана и 20 % азота будут тяжелее окружающего воздуха. При нормальных условиях плотность этих отпарных газов будет составлять примерно 0,6 от плотности воздуха.

5.3.2 Выброс

Как в случае любой жидкости, если давление СПГ опускается ниже давления кипения, например, при пропускании через клапан, некоторое количество жидкости будет испаряться, и температура жидкости упадет до своей новой температуры кипения при данном давлении. Это явление называется выброс. Поскольку СПГ является многокомпонентной смесью, составы выбросного газа и остаточной жидкости будут отличаться по причинам, которые изложены в 5.3.1.

Например, падение давления на величину 10^3 Па для 1 м³ СПГ при температуре кипения, соответствующей давлению в диапазоне от $1 \cdot 10^5$ до $2 \cdot 10^5$ Па, приводит к выбросу приблизительно 0,4 кг газа.

Более точный расчет количества и состава жидких и газовых продуктов при падении давления многокомпонентных жидкостей, таких как СПГ, являются сложной задачей. Для подобных расчетов необходимо применять надежные программные комплексы термодинамического или технологического моделирования.

5.4 Разлив СПГ

5.4.1 Характеристики разливов СПГ

Когда СПГ проливается на землю (при самопроизвольном разливе), есть начальный период интенсивного кипения, после чего скорость испарения СПГ

быстро падает до постоянного значения, которое определяется тепловыми свойствами грунта и притока тепла, получаемого от окружающего воздуха. Скорость испарения СПГ может быть значительно уменьшена за счет использования теплоизолированных поверхностей в местах возможных утечек. Данные по скорости испарения СПГ с поверхностей различных материалов, приведенные в таблице 2, получены из экспериментальных исследований.

Т а б л и ц а 2 – Скорость испарения СПГ

Материал	Скорость испарения СПГ с единицы поверхности, кг/(м ² ·ч)
Композит	480
Мокрый песок	240
Сухой песок	195
Вода	190
Стандартный бетон	130
Легкий коллоидный бетон	65

При разливе СПГ из относительно небольших количеств жидкости может образоваться большой объем газа. Из одного объема жидкости может образоваться около 600 объемов газа при нормальных условиях (см. таблицу 1).

Когда происходит разлив СПГ на поверхности воды, конвекция в воде настолько высока, что скорость испарения, отнесенная к площади поверхности, остается постоянной. Площадь разлива СПГ будет продолжать увеличиваться до тех пор, пока скорость испарения жидкости не станет равна скорости притока жидкости, прибывающей в результате утечки.

5.4.2 Расширение и рассеяние газового облака

Первоначально газ, образующийся в результате испарения СПГ, имеет почти такую же температуру, как и сам СПГ и является более плотным, чем окружающий воздух. Такой газ будет в первую очередь находиться вблизи поверхности земли, пока не нагреется, поглощая тепло из окружающего воздуха. Когда температура в

облаке поднимается до минус 113 °С для чистого метана или приблизительно до минус 80 °С для СПГ (в зависимости от компонентного состава), он становится менее плотным, чем окружающий воздух. Смесь газа с воздухом будет подниматься при повышении ее температуры, поскольку эта смесь имеет плотность меньшую, чем окружающий воздух.

Разлив СПГ, расширение и рассеяние парового облака являются достаточно сложными явлениями и, как правило, могут быть описаны при помощи компьютерных моделей. Указанное моделирование должно быть проведено только специализированной организацией.

После разлива СПГ образуются облака «тумана», вызванные конденсацией охлажденного водяного пара в атмосфере. Непосредственная видимость «тумана» (днем и в отсутствие естественного природного тумана) – полезный показатель направления перемещения облака испаренного газа, что позволяет оценить опасность воспламенения смеси газа и воздуха.

В случае утечки из сосудов, работающих под давлением или трубопроводов, СПГ будет распыляться в виде струйных потоков в атмосфере с одновременным дросселированием (расширением) и испарением. Этот процесс сопровождается интенсивным перемешиванием с окружающим воздухом. Большая часть СПГ будет содержаться в газовом облаке, первоначально пребывающем в виде аэрозоля. Это приведет в конечном итоге к испарению мелких капель жидкости при дальнейшем перемешивании с воздухом.

5.5 Воспламенение

Смешанное облако паров СПГ и воздуха может воспламеняться, когда объемная концентрация паров СПГ находится в диапазоне от 5 % до 15 %.

Примечание – В Российской Федерации приняты также значения концентрационных пределов воспламенения природного газа (паров СПГ) в смесях с воздухом, составляющие 4,4 (нижний) и 17,0 (верхний) % об., соответственно.

5.5.1 Поверхность горения

ПППЭ пламени от горящего бассейна СПГ с диаметром более 10 м может быть очень высокой и рассчитывается из измеренного значения падающего потока

излучения и определения зоны пламени. ПППЭ зависит от размера поверхности горения, выбросов дыма и способов измерения. С увеличением сажеобразования значение ПППЭ уменьшается. В приложении А приведен перечень ссылочных документов, которые могут быть использованы при определении ПППЭ для конкретных условий.

5.5.2 Распространение и последствия перепадов давления

В свободном облаке пары СПГ горят с низким перепадом давления (менее 5 кПа) по облаку. Более высокое давление может возникнуть в местах с высокой плотностью застройки или локализации оборудования, например, плотно установленного оборудования или зданий.

5.6 Безопасное хранение

Природный газ не может быть сжижен, путем использования только давления при недостаточно низкой температуре окружающей среды. На самом деле его температура должна быть понижена до температуры менее минус 82,6 °С (критическая температура), прежде чем он может быть сжижен при достаточном давлении. Это означает, что сжиженный природный газ, который содержится, например, между двумя клапанами или в герметичном сосуде без выпускного клапана, при возможном нагреве будет образовывать газовую фазу, что приведет к резкому повышению давления, вплоть до разрушения оболочки емкости для хранения или арматуры. Все установки и оборудование для СПГ должны быть спроектированы таким образом, чтобы диаметры сбросных отверстий и/или предохранительных клапанов соответствовали объемам емкостей на случай быстрого испарения СПГ.

5.7 Другие физические явления

5.7.1 Ролловер

Термин «ролловер» имеет отношение к процессу, при котором в резервуарах для хранения СПГ может образоваться большое количество газа в течение короткого периода времени. Ролловер может привести к возникновению избыточного давления в емкости для хранения СПГ, в случае если не приняты соответствующие меры по предотвращению указанного явления.

Указанное явление может возникать в резервуарах для хранения СПГ при наличии двух устойчиво стратифицированных слоев или зон, что происходит, как правило, в результате недостаточного смешивания жидкостей при добавлении свежего СПГ к остаткам сжиженного газа в емкости, отличающегося от него по плотности. В локальном объеме плотность жидкости равномерна, но в нижней части резервуара содержится жидкость, которая является более плотной, чем жидкость в верхней части. Впоследствии, из-за притоков тепла в емкость, тепло- и массообмена между различными слоями жидкости и испарения жидкости с поверхности, плотность СПГ в различных слоях (зонах) выравнивается и, в конечном счете, происходит перемешивание. Данное самопроизвольное перемешивание называется ролловер, и если жидкость в нижней части емкости перегрета относительно давления насыщения паровой фазы в емкости СПГ, то происходит увеличение выделения паров СПГ. Иногда указанное выделение паров является весьма быстрым и масштабным. В некоторых случаях повышение давления в емкости бывает достаточным, чтобы вызвать срабатывание клапанов сброса давления.

Первоначально предполагали, что, когда плотность верхнего слоя СПГ начинает превышать плотность нижнего слоя, происходит инверсия слоев (отсюда и название ролловер). Более поздние исследования показывают, что данная гипотеза не совсем верна, и на самом деле происходит быстрое перемешивание.

Возможному возникновению ролловера, как правило, предшествует период, в течение которого скорость образования отпарного газа будет значительно ниже обычной. Вследствие этого скорость образования отпарного газа необходимо постоянно контролировать, чтобы убедиться, что жидкость не аккумулирует тепло. Если есть основания полагать, что это происходит, необходимо стремиться обеспечить циркуляцию жидкости в емкости для смешения ее различных слоев.

Ролловер может быть предотвращен путем эффективного управления партиями СПГ. Сжиженные природные газы из разных источников, с различающимися составами и плотностью, предпочтительно должны храниться в отдельных емко-

стях. Если раздельное хранение невозможно реализовать, то необходимо обеспечить хорошее смешивание слоев жидкости в ходе заполнения емкости.

Высокое содержание азота в верхних слоях СПГ также может вызвать ролlover после прекращения наполнения резервуара.

Опыт показывает, что данный тип ролловера можно успешно предотвратить, поддерживая содержание азота в СПГ ниже 1 % и тщательно контролируя скорость образования отпарного газа.

5.7.2 Мгновенный фазовый переход

Когда вступают в контакт две жидкости с разными температурами, при определенных обстоятельствах может произойти объемный взрыв. Это явление, получившее название мгновенный фазовый переход (МФП), может возникнуть, например, когда СПГ и вода вступают в непосредственный контакт. Хотя воспламенения при указанном контакте не происходит, данное явление имеет все внешние признаки взрыва.

МФП может также происходить в отдельных случаях в результате разлива СПГ на поверхности воды.

В качестве общей теории данного явления, хорошо согласующейся с результатами экспериментов, можно принять следующее. Когда две жидкости с разными температурами вступают в непосредственный контакт и при этом температура (по абсолютной шкале) более теплой жидкости выше в 1,1 раза, чем температура кипения холодной, повышение температуры последней происходит настолько быстро, что температура поверхностного слоя может превысить температуру спонтанной нуклеации (появления пузырьков в жидкости). В некоторых случаях такая перегретая жидкость испаряется в течение очень короткого промежутка времени по сложному механизму цепной реакции с образованием пара в режиме взрыва. Например, жидкости могут плотно контактировать в результате механического воздействия, что вызывает МФП, как было показано в экспериментах с разливом СПГ или жидкого азота на поверхности воды.

В настоящее время проводятся обширные научные исследования с целью детального изучения механизма явления МФП для точного количественного описания и установления степени достаточности предпринимаемых мер безопасности.

5.7.3 Взрывное испарение кипящей жидкости

Любая жидкость вблизи ее температуры кипения может чрезвычайно быстро испаряться при резком падении давления в системе. Известны случаи, когда подобное принудительное расширение приводило к разрушению сосудов и разбрасыванию обломков на несколько сотен метров. Указанное явление было названо взрывным испарением кипящей жидкости (ВИКЖ).

Вероятность явления ВИКЖ на установках СПГ крайне мала, поскольку либо СПГ хранится в емкостях, которые разгерметизируются уже при достаточно низких давлениях, при этом скорость образования пара весьма мала, либо для хранения и транспортирования СПГ используются изотермические и взрывозащищенные сосуды высокого давления и трубопроводы.

6 Материалы для технологического оборудования

6.1 Материалы, используемые в индустрии СПГ

Большинство материалов, применяемых для производства оборудования подвержены охрупчиванию при воздействии очень низких температур. В частности, вязкость разрушения для углеродистой стали очень низка при температуре СПГ (минус 160 °С). Для материалов, используемых в контакте с СПГ, должна быть доказана их устойчивость к разрушению вследствие охрупчивания.

6.1.1 Материалы, контактирующие с СПГ

Наиболее широко применяемые материалы, которые не становятся хрупкими при непосредственном контакте с СПГ, и их области применения, приведены в таблице 3. Следует учитывать, что приведенный список не является исчерпывающим. Химический состав и свойства нержавеющей сталей и основных криогенных сплавов приведены в приложении В.

Т а б л и ц а 3 – Основные материалы, используемые в прямом контакте с СПГ и области их применения

Материал	Область применения
Нержавеющая сталь	Резервуары, сливные рукава, болты и гайки, трубопроводы и фитинги, насосы, теплообменники
Никелевые сплавы, ферроникель	Резервуары, болты и гайки
Алюминиевые сплавы	Резервуары, теплообменники
Медь и медные сплавы	Уплотнения, трущиеся поверхности
Асбест ^а , эластомер	Уплотнения, прокладки
Бетон (предварительно напряженный)	Резервуары
Эпоксиды (смола)	Корпуса насосов
Эпоксиды (силерит)	Электроизоляция
Фибергласс	Корпуса насосов
Графит	Уплотнения, сальники
Фторэтиленпропилен	Электроизоляция
Политетрафторэтилен (тефлон)	Уплотнения, сальники, опорные поверхности
Политрифторхлорэтилен	Опорные поверхности
Стеллит ^б	Опорные поверхности
^а Асбест запрещено использовать во вновь вводимых и проектируемых установках. ^б Состав стеллита (по массе): кобальт - 55 %, хром - 33 %, вольфрам - 10 %, углерод - 2 %.	

6.1.2 Материалы, не контактирующие с СПГ

Основные материалы, используемые в строительстве, устойчивые к низким температурам, но не предназначенные для прямого контакта с СПГ при нормальной эксплуатации приведены в таблице 4. Приведенный перечень материалов также не является абсолютно исчерпывающим.

Т а б л и ц а 4 – Основные материалы, не используемые в прямом контакте с СПГ и области их применения

Материал	Область применения
Низколегированная нержавеющая сталь	Шариковые подшипники
Бетон (предварительно напряженный, армированный)	Резервуары
Коллоидный бетон	Защитная обваловка
Древесина (пробковое дерево, клееная фанера, пробка)	Термоизоляция
Эластомер	Мастика, клей
Стекловата	Термоизоляция
Минеральная вата	Термоизоляция
Отслоившаяся слюда	Термоизоляция
Поливинилхлорид	Термоизоляция
Полистирол	Термоизоляция
Полиуретан	Термоизоляция
Полиизоцианурат	Термоизоляция
Песок	Защитная обваловка
Силикат кальция, кварц (стекло)	Термоизоляция
Пеностекло	Термоизоляция, защитная обваловка
Перлит (вулканическое стекло)	Термоизоляция

6.1.3 Дополнительная информация

Медь, латунь и алюминий имеют относительно низкую температуру плавления, что может приводить к повреждению емкостей и оборудования при воспламенении СПГ при его разливе. Поэтому, необходимо использовать в качестве конструкционных материалов нержавеющую сталь или сталь с содержанием не менее 9 % никеля. Алюминий часто используется в качестве материала для теплообменников. Трубные и пластинчатые теплообменники на заводах по сжижению природного газа, как правило, защищают стальным корпусом, так называемым «хо-

лодным боксом». Алюминий может также использоваться в качестве материала для подвесных крыш внутри емкостей.

Оборудование, специально предназначенное для жидкого кислорода или жидкого азота, как правило, также подходит для использования при производстве, хранении и транспортировании СПГ.

Оборудование, предназначенное для нормальной работы с СПГ, рассчитанное на высокое давление и температуру, должно быть спроектировано с учетом возможного снижения температуры в случае разгерметизации системы.

6.2 Термические напряжения

Наиболее часто криогенное оборудование, используемое при производстве, транспортировании и хранении СПГ, подвергается быстрому охлаждению от температуры окружающей среды до температуры, характерной для СПГ.

Градиенты температуры, которые возникают при указанном процессе охлаждения, вызывают термические напряжения, которые являются временными, циклическими и максимальное напряжение возникает вдоль стен емкостей и оборудования, непосредственно контактирующих с СПГ.

Указанные напряжения нарастают с увеличением толщины материалов стенок емкостей и оборудования, и при толщине стенок более 10 мм напряжения могут стать существенными. Для критических точек, переходные или ударные напряжения могут быть определены с использованием инженерных расчетных методов или испытаний на хрупкое разрушение.

7 Требования безопасности и охраны труда

Следующие ниже рекомендации приведены в качестве общего руководства для лиц, проводящих работы при производстве, хранении и транспортировании СПГ, однако в настоящем стандарте не рассматриваются все вопросы безопасности, связанные с его применением, и он не может заменять собой требования национальных или региональных стандартов по безопасности.

7.1 Воздействие холода

Низкие температуры, характерные для процессов производства, хранения и транспортирования СПГ, могут привести к возникновению различных повреждений на открытых частях тела. Если лица, работающие с СПГ, должным образом не защищены от низких температур, воздействие на организм СПГ может привести к тяжелым последствиям.

7.1.1 Поражения при контакте с СПГ

Попадание СПГ на открытые участки кожи может вызвать появление пузырей на коже, внешне похожих на термические ожоги. Газ, образующийся из СПГ, также имеет очень низкую температуру и контакт с ним может привести к обморожениям. Чувствительные органы, такие, как глаза, могут быть повреждены воздействием указанного холодного газа, даже если оно будет слишком кратковременным и не успеет повредить кожу лица и рук.

Незащищенные части тела не должны касаться неизолированных трубопроводов или сосудов, содержащих СПГ. Очень холодный металл может прилипать к коже, которая может быть повреждена при попытке отрыва от поверхности металла.

7.1.2 Обморожения

Резкое или длительное воздействие холодных паров и газов на организм человека может вызвать обморожение. Локальная боль, как правило, является признаком обморожения, но иногда боль не появляется.

7.1.3 Влияние холода на легкие

Длительное дыхание в чрезвычайно холодной атмосфере может привести к повреждению легких. Кратковременное воздействие может вызвать дыхательный дискомфорт.

7.1.4 Гипотермия

Опасность переохлаждения может возникать даже при температуре до 10 °С. Лица, которые страдают от последствий переохлаждения, должны быть выведены из холодной зоны и быстро согреты в теплой ванне при температуре

от 40 °С до 42 °С. В этих случаях не следует использовать для согревания пострадавших от переохлаждения сухое тепло.

7.1.5 Рекомендуемая защитная одежда

При работе с СПГ глаза должны быть защищены с помощью соответствующей защитной маски или специальных очков.

При работе с криогенными жидкостями или охлажденными парами должны применяться кожаные перчатки. Перчатки должны надеваться и сниматься достаточно свободно, чтобы их можно было легко снять в случае попадания на них охлажденной жидкости. Даже при использовании перчаток, все операции с оборудованием, содержащим СПГ, должны проводиться только в течение короткого промежутка времени.

При работе с СПГ следует надевать плотно сидящие комбинезоны или подобный тип одежды, желательно, без карманов или манжет. Брюки следует надевать навыпуск, поверх сапог или ботинок. Одежда, на которую попала криогенная жидкость или охлажденные пары, должна быть проветрена на открытом пространстве и вдали от источника возможного воспламенения перед последующим использованием.

Лица, работающие с СПГ, должны быть проинформированы о том, что защитная одежда может быть эффективна только при защите от случайных брызг СПГ, при этом следует избегать полного контакта с СПГ.

7.2 Воздействие газа

7.2.1 Токсичность

СПГ и природный газ не являются токсичными веществами.

7.2.2 Асфиксия

Природный газ может вызвать удушье (асфиксию). Нормальное содержание кислорода в воздухе составляет 20,9 % по объему. При снижении концентрации кислорода в воздухе ниже 18 % по объему может происходить удушье. В случае возникновения высокой концентрации природного газа в воздухе, могут наблюдаться тошнота или головокружение, вызванные недо-

статком кислорода. При выходе из зоны с пониженным содержанием кислорода, симптомы удушения быстро исчезают. Содержание кислорода и углеводородов в воздухе рабочей зоны, где возможны утечки природного газа, должно контролироваться в постоянном режиме.

П р и м е ч а н и е – Даже если содержание кислорода в воздухе рабочей зоны достаточно для нормального дыхания, необходимо контролировать концентрацию взрывоопасных компонентов до начала проведения работ. При работах во взрывоопасных зонах необходимо использовать только специальные инструменты, пригодные для применения во взрывоопасных зонах.

7.3 Меры противопожарной безопасности и защиты

При работе с СПГ рекомендуется использование огнетушителей порошкового типа (предпочтительно с карбонатом калия). Лица, работающие с СПГ, должны уметь пользоваться порошковыми огнетушителями при тушении горящих жидкостей.

Высокопористая пена или блоки из пеностекла могут быть полезны при локализации очага возгорания СПГ, поскольку значительно снижают тепловое излучение от него.

Источники водоснабжения должны быть доступны для охлаждения и для получения пены. Не допускается применять воду для тушения пожаров СПГ.

Противопожарные меры и защита должны соответствовать требованиям EN 1473.

7.4 Запах

Пары СПГ не обладают запахом.

П р и м е ч а н и е – Не обладают запахом пары СПГ, который получен из неогорючего и не содержащего сернистых соединений природного газа.

Приложение А

(справочное)

Перечень ссылочных документов

А.1 Общая информация

1. Safety tools for LNG risk evaluation: cloud dispersion and radiation, D. NEDELKA, B. WEISS, B. BAUER (Gaz de France), IGU H12-91, Berlin (July 1991).
2. Methodology of Gaz de France concerning matters of LNG terminals, D. NEDELKA, A. GOY (Gaz de France), Paper 1, Session III, LNG 10, Kuala Lumpur (May 1992).
3. Grundlagen sicherheitstechnischer Erfordernisse im Umgang mit Flüssigerdgas (LNG), K.A. HOPFER, gwf Gas-Erdgas 130 (1989), S 27-32.

А.2 Пожароопасность СПГ

1. Calculation of radiation effects, D. NEDELKA (Gaz de France), EUEOGAS Trondheim (May 1990).
2. The MONTIOIE 35 m diameter LNG pool fire experiments, D. NEDELKA, J. MOORHOUSE, R.F. TUCKER, (Gaz de France, British Gas, Shell Research), Paper 3, Session III, LNG 9, Nice (Nov 1989).
3. Fire safety assessment for LNG storage facilities, B. J. LOWESMITH, J. MOORHOUSE, P. ROBERT, Paper 2, Session III, Intern. Conference on LNG (LNG 10), Kuala Lumpur 1992.
4. Prediction of the heat radiation and safety distances of large fires with the model OSRAMO, A. SCHONBUCHER et al, 7th Int. Symp. on Loss Prevention and Safety Promotion in the process industries, 68-1/68-16, Proceedings, Taormina (1992).
5. Das experimentell validierte Ballen- Strahlungsmodell OSRAMO, Teil 1: Theoretische Grundlagen, A. SCHONBUCHER et al, Tu 33 (1992), 137/140.
6. Das experimentell validierte Ballen- Strahlungsmodell OSRAMO, Teil 2: Sicherheitstechnische Anwendung (Sicherheitsabstände), A. SCHONBUCHER et al, Tu 33 (1992), 219/223.
7. LNG fire: A thermal radiation model for LNG fires, Topical report, June 29, 1990, Gas Research Institute, 8600 West Bryn Mawr Avenue, Chicago, Illinois 60631.
8. Thermal radiation from LNG trench fires, Volume III, Final report, September 1982 - September 1984, Gas Research Institute, 8600 West Bryn Mawr Avenue, Chicago, Illinois 60631.
9. Methods of the calculation of the physical effects of the escape of dangerous material, Chapter 6 – Heat radiation, G.W. HOFTIJER, TNO Organization for Industrial Research – Division of Technology for Society, P.O. Box 342, 7300 AH Apeldoorn, Netherlands.

10. Large scale LNG and LPG pool fires in the assessment of major hazards, G.A. MIZNER and J.A. EYRE, Institution of Chemical Engineers Symposium, Series No. 71 (1982).

A.3 Мгновенный фазовый переход

1. Contribution to the study of the behaviour of LNG spilled onto the sea, A. SALVADORI, J.C. LEDIRAISON, D. NEDELKA, (Gaz de France), Session III, LNG 7, Djakarta (May 1983).

2. Rapid phase transitions of cryogenic liquids boiling on water surface, J.D. SAINSON, C. BARADEL, M. ROULEAU, J. LEBLOND (Gaz de France, ESPCI, ENS), Paper 9, Session II, Eurotherm Louvain (May 1990).

3. Propagation of vapor explosion in a stratified geometry. Experiments with liquid nitrogen and water, J.D. SAINSON, M. GABILLARD, T. WILLIAMS (Gaz de France, Gas Research Institute), CSNI — Fuel Coolant Interaction — Santa Barbara (Jan. 1993).

A.4 Поллювер

1. LNG stratification and rollover, J.A. SARSTEN, Pipeline and Gas Journal, vol. 199, p. 37 (Sep. 1972).

2. Tests on LNG behaviour in large scale tank at Fos-sur-Mer terminal, F. BELLUS, Y. REVEILLARD, C BONNAURE, L. CHEVALIER (Gaz de France), Paper 9, Session III, LNG 5 (May 1977).

3. Management of LNG storage tanks. Stratification, mixing and ageing of LNG, O. MARCEL, A. GIRARD-LAOT, P. LANGRY (Gaz de France), Paper 4, Session III, LNG 10, Kuala Lumpur (May 1992).

4. LNG tank filling: Operational procedures to prevent stratification, M. BAUDINO (SNAM), Paper H5, 16th World Gas Conference, Munich (1985).

A.5 Взрывное испарение кипящей жидкости

1. LNG and explosions of BLEVE type, L. MONTENEGRO FORMIGUERA (Catalana de Gas y Electricidad), Gas National Conference XIII, Madrid (May 1987).

A.6 Справочники по СПГ

1. Encyclopedic de gaz — L'Air liquide — Elsevier (1976).

2. LNG materials and fluids: A user's manual of property data in graphic format, National Bureau of Standards, Boulder, Colorado, USA, Douglas Man (1977).

A.7 Разливы СПГ

1. Boiling and spreading rates of instantaneous spills of liquid methane on water, D.J. CHATLOS, R.C. REID, Gas Research Institute 81/0045 (April 1982).

2. Verein Deutscher Ingenieure, Arbeitsblatt VDI 3783, Blatt 1: Ausbreitung von storfallbedingten Freisetzungen, Sicherheitsanalyse.

3. Verein Deutscher Ingenieure, Arbeitsblatt VDI 3783, Blatt 2: Ausbreitung von storfallbedingten Freisetzungen schwerer Gase, Sicherheitsanalyse.

A.8 Стандарты

EN 485-2 «Aluminium and aluminium alloys – Sheet, strip and plate – Part 2: Mechanical properties»

EN 515 «Aluminium and aluminium alloys – Wrought products – Temper designations»

EN 573-3 «Aluminium and aluminium alloys – Chemical composition and form of wrought products – Part 3: Chemical composition»

EN 10028-4 «Flat products made of steels for pressure purposes – Part 4: Nickel alloy steels with specified low temperature properties»

EN 10045-1 «Metallic materials – Charpy impact test – Part 1: Test method»

EN 10088-1 «Stainless steels stainless steels»

EN 10088-2 «Stainless steels – Part 2: Technical delivery conditions for sheet/plate and strip for general purposes»

EN 10088-3 «Stainless steels – Part 3: Technical delivery conditions for semi-finished products, bars, rods and sections for general purposes»

EN 26501 «Ferronickel – Specification and delivery requirements (ISO 6501:1988)»

EN 754-2 «Aluminium and aluminium alloys – Cold drawn rod/bar and tube – Part 2: Mechanical properties»

EN 755-2 «Aluminium and aluminium alloys – Extruded rod/bar, tube and profile – Part 2: Mechanical properties»

EN 10222-6 «Steel forgings for pressure purposes – Part 6: Austenitic, martensitic and austenitic-ferritic stainless steels»

ISO 6208 «Nickel and nickel alloy plate, sheet and strip»

ISO 6568 «Natural gas – Simple analysis by gas chromatography»

ISO 6578 «Refrigerated hydrocarbon liquids – Static measurement – Calculation procedure»

ISO 6974 «Natural gas – Determination of hydrogen, inert gases and hydrocarbons up to C₈ – Gas chromatographic method»

ISO 8310 «Refrigerated light hydrocarbon fluids – Measurement of temperature in tanks containing liquefied gases – Resistance thermometers and thermocouples»

ISO 9722 «Nickel and nickel alloys – Composition and form of wrought products»

ISO 9723 «Nickel and nickel alloy bars»

Приложение В
(справочное)

Материалы, рекомендуемые к использованию при работе с СПГ

В этом приложении приведен ассортимент основных материалов, которые могут использоваться в контакте с СПГ.

Ссылки на европейские или международные стандарты (или проекты стандартов), в которых приведен химический состав или механические свойства материалов, указаны в таблицах В.1–В.6.

Значения энергии (работы) ударного разрушения при температуре минус 196 °С приведены в таблице В.1.

Т а б л и ц а В.1 – Значения энергии (работы) ударного разрушения для различных марок нержавеющей стали в виде листов (пластин) и полос, применяемых при температуре окружающей среды и пониженных температурах

Обозначение марки стали		Энергия (работа) ударного разрушения, Дж, ^а при температуре минус 196 °С	
Название	Номер	продольная	поперечная
X2CrNi18-9	1.4307	-	≥70
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	90	70
X2CrNiMo17-12-3	1.4432	90	70
X2CrNiMo18-14-3	1.4435	90	70
X5CrNi18-10	1.4301	90	70
X6CrNi18-10	1.4541	90	70
X6CrNiMoNb17-12-2	1.4580	90	70
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	90	70
X3CrNiMo17-13-3	1.4436	90	70
X2CrNiMo18-15-4	1.4438	90	70
X2CrNi18-10	1.4311	90	70
X2CrNiMoN17-13-3	1.4429	90	70
X2CrNiMoN18-12-4	1.4434	90	70
X2CrNiMoN17-13-5	1.4439	90	70
X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539	90	70
а) Значения энергии (работы) ударного разрушения при температуре минус 196 °С содержатся во французских стандартах, поскольку европейский стандарт по нержавеющей стали для работы под давлением пока не доступен. Примечание – Химический состав: см. EN 10088-1, механические свойства: см. EN 10088-2.			

Т а б л и ц а В.2 – Марки нержавеющей стали для гаек и болтов, применяемых при температуре окружающей среды и пониженных температурах

Обозначение марки стали
X5CrNi18-10
X4CrNi18-12
X5CrNiMo17-12-2
X3CrNiMo 17-13-3
П р и м е ч а н и е – См. EN 10088-2 для уточнения механических свойств.

Т а б л и ц а В.3 – Марки нержавеющей стали для стоек, применяемые при температуре окружающей среды и пониженных температурах

Обозначение марки стали	
Название	Номер
X2CrNi18-9	1.4307
X2CrNiMo17-12-2	1.4404
X2CrNiMo17-12-3	1.4432
X2CrNiMo18-14-3	1.4435
X5CrNi18-10	1.4301
X6CrNiTi18-10	1.4541
X6CrNiMoNb17-12-2	1.4580
X5CrNiMo17-12-2	1.4401
X3CrNiMo17-13-3	1.4436
X2CrNiMo18-15-4	1.4438
X8CrNiS18-9	1.4305
X2CrNiN18-10	1.4311
X2CrNiMoN17-13-3	1.4429
X2CrNiMoN17-13-5	1.4439
X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539
П р и м е ч а н и е – См. EN 10088-3 для уточнения механических свойств, см. EN 10088-1 для уточнения химических свойств.	

Т а б л и ц а В.4 – Марки нержавеющей стали для кованых изделий, применяемые при температуре окружающей среды и пониженных температурах

Обозначение марки стали	
Название	Номер
X2CrNi18-9	1.4307
X2CrNiMol7-12-2	1.4404
X2CrNiMol7-12-3	1.4432
X5CrNi18-10	1.4301
X6CrNi18-10	1.4541
X4CrNiMol7-12-2	1.4401
X2CrNiN18-10	1.4311
X6CrNiNb18-10	1.4550
Примечание – См. EN 10222-6 для уточнения механических свойств, см. EN 10088-1 для уточнения химических свойств.	

Т а б л и ц а В.5 – Ферроникель и никелевые сплавы

Обозначение	Химический состав, ссылочные стандарты	Механические свойства, ссылочные стандарты
FeNi40LC	EN 26501	EN 26501
X8Ni9 (1.5662)	EN 10028-4	EN 10028-4
FeNi32Cr21AlTi	ISO 9722	ISO 6208, ISO 9723
FeNi32Cr21AlTiHC		
NiCr15Fe8		
NiMol6Cr15Fe6W4		
NiMo28		

Т а б л и ц а В.6 – Алюминиевые сплавы

Обозначение		Химический состав	Механические свойства
Номер	Химическое обозначение	ссылочный стандарт	ссылочный стандарт
EN AW-5083	EN AW-AlMg4,5Mn0,7	EN 573-3	EN 485-2 EN 754-2 EN 755-2
EN AW-5086	EN AW-AlMg4	EN 573-3	EN 485-2 EN 754-2 EN 755-2

Приложение ДА
(справочное)

**Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов
ссылочным национальным стандартам Российской Федерации**

ДА.1 Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным национальным стандартам Российской Федерации приведены в таблице ДА.1

Т а б л и ц а ДА.1 – Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов
ссылочным национальным стандартам Российской Федерации

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
EN 1473 «Installation and equipment for liquefied natural gas – Design of on- shore installation»	IDT	*
ISO 6974 «Natural gas. Determination of composition with defined uncertainty by gas chromatography method»	IDT	ГОСТ 31371-2008 (ИСО 6974) «Газ природный. Определение состава методом газовой хроматографии с оценкой неопределенности»
ISO 6578 «Refrigerated hydrocarbon liquids – static measurement – calcula- tion procedure»	IDT	*
ISO 8310 «Refrigerated light hydrocar- bon fluids – Measurement of tempera- ture in tanks containing liquefied gases – Resistance thermometers and thermo- couples»	IDT	*
* Соответствующий национальный стандарт отсутствует. До его утверждения рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта. Перевод данного международного стандарта находится в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов.		
П р и м е ч а н и е - В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов: IDT - идентичный стандарт.		

УДК 543.272.1

ОКС 75.060, 75.180

Л19

Ключевые слова: сжиженный природный газ, общая характеристика, испарение, разлив, воспламенение, безопасное хранение, термические напряжения
