Межгосударственный стандарт ГОСТ 34602-2019 "Автомобильные транспортные средства, использующие газ в качестве моторного топлива. Общие технические требования к эксплуатации на сжиженном природном газе, техника безопасности и методы испытаний" (введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 октября 2019 г. N 1169-ст)

Automotive vehicles using gas as a motor fuel. General technical requirements for the operation of liquefied natural gas, safety and test methods

МКС 43.060.40

Дата введения - 30 ноября 2020 г.
Введен впервые

Предисловие

Цели, основные принципы и общие правила проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0 "Межгосударственная система стандартизации. Основные положения" и ГОСТ 1.2 "Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены"

Сведения о стандарте

1 Подготовлен Федеральным государственным унитарным предприятием "Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский

автомобильный и автомоторный институт "НАМИ" (ФГУП "НАМИ")

2 Внесен Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 56 "Дорожный транспорт"

3 Принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 30 октября 2019 г. N 123-П)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004-97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004-97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Армения	AM	Минэкономики Республики Армения
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 октября 2019 г. N 1169-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 34602-2019 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 30 ноября 2020 г.

5 Введен впервые

6 Настоящий стандарт подготовлен на основе применения ГОСТ Р 56217-2014 *

---

* Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 октября 2019 г. N 1169-ст ГОСТ Р 56217-2014 отменен с 30 ноября 2020 г.

---

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает технические требования к эксплуатации криогенных бортовых топливных систем, установленных на автомобильных транспортных средствах, работающих на сжиженном природном газе, и методы испытаний.

Стандарт распространяется на криогенные бортовые топливные системы, устанавливаемые на автомобильные транспортные средства категорий M и N, снабженные двигателями внутреннего сгорания.

Технические требования к криогенным топливным бакам и элементам специального оборудования баков установлены в ГОСТ 34601.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие межгосударственные стандарты:

ГОСТ 2.601 Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы

ГОСТ 8505 Нефрас-С 50/170. Технические условия

ГОСТ 9968 Метилен хлористый технический. Технические условия

ГОСТ 34601 Автомобильные транспортные средства, работающие на сжиженном природном газе. Криогенные системы питания. Технические требования и методы испытаний

Примечание - При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов и классификаторов на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации (www.easc.by) или по указателям национальных стандартов, издаваемым в государствах, указанных в предисловии, или на официальных сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации. Если на документ дана недатированная ссылка, то следует использовать документ, действующий на текущий момент, с учетом всех внесенных в него изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то следует использовать указанную версию этого документа. Если после принятия настоящего стандарта в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение применяется без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения и сокращения

3.1 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 вскипание: Процесс парообразования при снижении давления ниже равновесного значения.

3.1.2 дренаж: Выход паров криогенной жидкости из сосуда в окружающую среду.

3.1.3 дренажный вентиль: Запорный вентиль на дренажном трубопроводе.

3.1.4 максимально допустимый уровень жидкости: Уровень жидкости в сосуде, при котором дальнейшая заправка сосуда запрещена, так как при термическом расширении жидкости возможно его разрушение.

3.1.5 заправочный резервуар: Резервуар, из которого осуществляют заправку криогенной бортовой топливной системы.

3.2 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

КБТС - криогенные бортовые топливные системы;

АТС - автомобильные транспортные средства;

СПГ - сжиженный природный газ;

БКТ - бак криогенный топливный;

ЗИП - запасное оборудование, инструмент, принадлежности;

ТУ - технические условия;

КД - конструкторская документация.

4 Характеристика криогенной бортовой топливной системы

4.1 КБТС входит в состав транспортного средства, силовая установка которого использует в качестве топлива природный газ, теплофизические свойства которого допускается определять, как для жидкого метана (см. приложение А).

4.2 КБТС характеризуется следующими параметрами, значения которых должны быть обоснованы при проектировании, подтверждены испытаниями и приведены в технической документации на КБТС:

- геометрический объем БКТ, дм^3;

- наибольшее количество СПГ, заправляемого в бак, кг;

- рабочее давление, МПа;

- максимальная производительность испарителя, м^3/ч;

- допустимое давление в баке, МПа;

- время подъема давления в баке, мин;

- масса КБТС (нетто), кг.

Значения параметров указывают в ТУ на конкретное изделие.

4.3 На каждом БКТ должна быть закреплена табличка с четкой нестираемой маркировкой, содержащая следующее:

- серийный номер;

- максимальная емкость, дм^3;

- обозначение "СПГ";

- рабочее давление, МПа;

- масса;

- завод-изготовитель;

- год и месяц испытаний (например, 2012/05);

- информация о насосе (если конструкцией предусмотрена его установка);

- знак наличия международного сертификата.

4.4 КБТС должна включать в себя следующее (см. приложение Б, рисунок Б.1):

- БКТ;

- систему регазификации СПГ;

- запорную и распределительную арматуру;

- предохранительный клапан;

- систему сброса (стравливания) паровой фазы;

- скоростной клапан (устройство ограничения потока);

- ручной вентиль;

- обратный клапан;

- систему измерений параметров жидкой и газовой фазы;

- заправочное устройство;

- трубопроводы (включая газопроводы), аппараты технологической обвязки, машинное оборудование (включая насос для подачи СПГ в двигатель, насос для циркуляции теплоносителя и др.).

В состав КБТС могут быть включены:

- регулятор давления;

- датчик давления;

- указатель уровня;

- автоматический клапан;

- фильтры;

- комплект крепежных элементов;

- ЗИП (при необходимости).

Состав КБТС допускается дополнять при конкретном исполнении.

4.5 КБТС должна обеспечивать:

- безопасную эксплуатацию АТС, работающего с использованием СПГ;

- поддержание устойчивого расхода газа, указанного в ТУ на КБТС, на входе в систему питания двигателя при любом количестве СПГ в БКТ;

- положительные значения температуры газа на входе в систему питания двигателя;

- условия для запуска двигателя в диапазоне рабочих температур, указанных в ТУ на двигатель;

- бездренажное хранение СПГ в соответствии с требованиями КД на бак;

- возможность проведения всех технологических операций с компонентами КБТС с минимальными демонтажно-монтажными работами.

4.6 При эксплуатации АТС, оснащенного КБТС, проводят следующие технологические операции:

- подготовку КБТС к заправке СПГ и заправку теплого и холодного БКТ;

- опорожнение и отогрев КБТС;

- проверку КБТС на герметичность;

- обезжиривание системы.

5 Хранение и регазификация сжиженного природного газа на борту автомобильного транспортного средства

При хранении и регазификации СПГ на борту АТС необходимо обеспечить:

- устойчивую подачу газа в двигатель в необходимом количестве на различных режимах работы и при положительной температуре;

- безопасность эксплуатации АТС при работе с применением СПГ.

5.1 Особенности хранения сжиженного природного газа на борту неработающего транспортного средства

5.1.1 Способ хранения СПГ выбирают из особенностей конструкции БКТ и оснащенности автотранспортного предприятия, эксплуатирующего АТС на СПГ.

5.1.2 Если время простоя ТС превышает время бездренажного хранения, то необходимо либо провести слив СПГ из БКТ и очистить элементы системы питания от отложений и загрязнений, либо подключить систему дренажа к устройству сброса газа на "свечу".

5.1.3 Потери СПГ при сбросе "на свечу" определяют внешним теплопритоком (см. приложение В), значение которого приводят в эксплуатационной

документации на БКТ КБТС.

5.1.4 Расчет длительности бездренажного хранения СПГ в БКТ при различной степени заполнения приведен в приложении Г.

5.2 Меры по устранению засорения коммуникаций и аппаратов твердыми отложениями

Наиболее вероятными местами для кристаллизации являются криогенная арматура, через которую проходит СПГ, необогреваемые участки испарителя-газификатора. Устранение засорений осуществляют методом выпаривания. Перед началом отогрева следует убедиться, используя газоанализаторы или другие аппаратные средства, в отсутствии взрывоопасной концентрации метана около КБТС. Для отогрева допускается использовать горячую воду или горячий пар в соответствии с методиками завода-изготовителя КБТС. Использовать для отогрева устройства с открытым пламенем запрещается.

5.3 Требования безопасности при хранении сжиженного природного газа на борту автотранспортного средства

5.3.1 Хранение АТС на открытой площадке с централизованным сбросом газа "на свечу" проводят при длительном сроке простоя ТС. В этом случае дренажный газопровод КБТС должен быть присоединен к устройству сброса "на свечу".

5.3.2 Проверку герметичности предохранительного клапана проводят сигнализатором или обмыливанием выходного отверстия дренажного трубопровода. При протечках предохранительного клапана эксплуатация АТС не допускается.

6 Заправка криогенной бортовой топливной системы сжиженным природным газом

6.1 Общие положения

6.1.1 В процессе заправки следует уменьшать длительность операции и сокращать потери жидкости, а также обеспечивать условия безопасности при выполнении операции.

6.1.2 Скорость заправки бака определяют расходом жидкости, зависящим от разницы давлений в КБТС и заправочном резервуаре, а также от диаметра проходных сечений элементов системы заправки.

6.1.3 Упрощенный расчет длительности заправки КБТС и потерь жидкости при заправке приведены в приложении Д. Существенное отклонение реальной длительности процесса заправки от расчетного значения свидетельствует о появлении паровой фазы в заправочной коммуникации, засорении заправочной коммуникации или повышенном сопротивлении дренажной коммуникации.

6.1.4 Для сокращения времени заправки применяют нагнетающий насос,

выходное давление которого не должно превышать рабочее давление КБТС.

6.2 Порядок проведения заправки криогенной бортовой топливной системы сжиженным природным газом

6.2.1 Во время заправки давление в заправочном резервуаре поддерживают на уровне рабочего значения, но не выше, чем рабочее давление КБТС.

6.2.2 Перед заправкой необходимо подсоединить рукав заправочной емкости к заправочному устройству БКТ, открыть заправочный вентиль на БКТ, открыть расходный вентиль на заправочной емкости и включить нагнетающий насос (при наличии).

6.2.3 Прекращение процесса заправки проводят одним из следующих способов:

- при срабатывании ограничителя уровня БКТ;

- по электрическому сигналу от уровнемера бака на автоматическое прекращение заправки;

- по звуковому или световому сигналу от уровнемера на прекращение заправки оператором.

6.2.4 По окончании заправки следует закрыть вентиль подачи жидкости из заправочного резервуара, снизить давление в баке до атмосферного, отсоединить заправочное устройство, закрыть заправочную горловину заглушкой.

6.3 Требования безопасности при проведении заправки криогенной бортовой топливной системы сжиженным природным газом

6.3.1 Заправку КБТС СПГ на криогенной заправочной станции проводят в автоматическом режиме управления в соответствии с технологическим регламентом станции, а заправку вне криогенной заправочной станции - по соответствующей технологии заправки, которая должна быть разработана эксплуатирующей службой, исходя из технической документации на топливозаправщик и на КБТС.

Рекомендуются следующие значения параметров:

- наибольшее количество СПГ, заправляемого в бак. БКТ должен включать в себя механизм защиты от переполнения, предотвращающий перелив бака более чем на 90 % внутреннего объема и автоматически останавливающий заправку при заполнении;

- наименьшее допустимое давление в баке - не менее 0,3 МПа (3,0 кгс/см^2);

- наибольшее допустимое давление в баке - не более 1,6 МПа (16 кгс/см^2);

- время бездренажного хранения - не менее 120 ч;

- потери от испарения (на жидком азоте) - не более 0,18 кг/ч.

6.3.2 При проведении заправки КБТС СПГ двигатель АТС не должен работать.

6.3.3 Перед заправкой должны быть приняты меры, исключающие самопроизвольное движение АТС.

6.3.4 При заправке из питающего резервуара (вне криогенной заправочной станции) необходимо обеспечить заземление питающего резервуара.

6.3.5 Подсоединение и отсоединение заправочного устройства к заправочной горловине проводят при атмосферном давлении в БКТ.

6.3.6 В процессе заправки давление в питающем резервуаре в соответствии с 6.2.1 не должно превышать значение рабочего давления в КБТС.

6.3.7 Движение АТС по окончанию заправки необходимо начинать только после отсоединения заправочного устройства и установки заглушки на горловину.

7 Опорожнение и отогрев криогенного топливного бака

7.1 Штатное опорожнение криогенного топливного бака

7.1.1 Штатное опорожнение БКТ проводят перед заездом АТС в помещение до проведения регламентных работ и ремонта КБТС. Штатное опорожнение с последующим отогревом БКТ также проводят для удаления накопившихся в нем примесей, восстановления вакуума в изоляционном пространстве, ремонта и технического освидетельствования КБТС.

7.1.2 Допускается вырабатывать остаток СПГ при работе двигателя АТС на холостом ходу.

7.1.3 Опорожнение заканчивают при полном удалении СПГ из бака. Контроль над полным опорожнением проводят через трубопровод нижнего слива или по уровнемеру (если трубопровод нижнего слива отсутствует). Определение длительности процесса и расхода газа на отогрев БКТ производят в соответствии с приложением Е.

7.2 Аварийное опорожнение криогенного топливного бака

7.2.1 Аварийное опорожнение бака КБТС проводят при нарушении герметичности тепловой изоляции (неуправляемое повышение давления в баке) или при разгерметизации системы (утечки СПГ, наблюдаемые визуально), при засорении коммуникаций, арматуры и испарителей твердыми отложениями.

7.2.2 Для проведения аварийного опорожнения КБТС необходимо остановить АТС, вызвать резервную цистерну и перелить в нее СПГ. Если цистерну вызвать невозможно, то в ближайшем месте, удаленном от жилых и промышленных зданий, с подветренной или перпендикулярной к ветру стороны из КБТС необходимо слить СПГ на грунт с последующим испарением в атмосферу. После полного испарения жидкости необходимо закрыть запорную арматуру КБТС и транспортировать АТС на буксире.

7.2.3 При аварийном опорожнении на грунт следует за счет регулирования

скорости опорожнения поддерживать площадь пятна СПГ на грунте не более 1,0 $м^2$. Скорость опорожнения регулируют вентилем слива или давлением в БКТ.

8 Периодическое устранение загрязнений криогенной бортовой топливной системы в процессе эксплуатации (обезжиривание)

8.1 Наибольшая часть высококипящих примесей накапливается в следующих узлах:

- испаритель;

- нижняя часть криогенного резервуара (район слива);

- арматура.

8.2 Удаление накопившихся примесей из узлов системы КБТС проводят путем продувки системы горячим воздухом или промывки ее неорганическими растворителями.

8.3 Перечень оборудования, приспособлений и материалов, используемых при промывке КБТС растворителями, а также порядок проведения работ приведены в приложении Ж.

9 Проверка криогенной бортовой топливной системы на герметичность

9.1 Методы испытаний криогенных бортовых топливных систем автотранспортных средств, общие положения

9.1.1 Целью испытаний является проверка соответствия технических показателей изделия требованиям ТУ и настоящего стандарта.

9.1.2 Испытания включают проверку:

- прочности крепления оборудования КБТС при перегрузках в соответствии с 9.2;

- основных технических характеристик КБТС, приведенных в технической документации на изделие согласно 4.2;

- условий работы КБТС совместно с двигателем согласно 4.3; 4.4;

- регламента на основные технологические операции согласно 4.5.

Объем и методы испытаний арматуры и отдельных устройств КБТС определяет их изготовитель.

9.1.3 Изделие допускают к испытаниям при полной комплектности оборудования, технической документации на изделие и при отсутствии замечаний после внешнего осмотра изделия.

9.1.4 Проверку на герметичность элементов КБТС проводят в соответствии с 9.3.

9.1.5 При обнаружении течи контрольного газа в месте соединения устройства допускаются повторный монтаж газовых соединений и проведение повторного испытания.

9.1.6 Перед началом заполнения КБТС СПГ проводят "теплую" опрессовку системы в соответствии с 9.3 и проверяют герметичность КБТС в целом, включая заправочный узел.

9.1.7 Для подготовки КБТС к приему СПГ необходимо заменить газовую атмосферу в БКТ на рабочую среду (природный газ) методом "полоскания" (трехкратным периодическим разбавлением газообразным азотом) или вакуумированием внутреннего сосуда и других элементов КБТС в соответствии с программой-методикой завода-изготовителя.

9.1.8 Техническое обслуживание КБТС во время испытаний проводят в соответствии с технической документацией на изделие.

9.1.9 Заданные и фактические данные, полученные при испытаниях, отражают в протоколах испытаний, утвержденных в установленном порядке.

9.2 Проверка прочности крепления оборудования

Проверку прочности крепления оборудования КБТС проводят следующим методом:

- расчетным;

- статических испытаний, имитирующих соответствующие перегрузки, с приложением их к центру масс БКТ;

- динамических испытаний АТС (на удар).

9.3 Проверка на герметичность элементов криогенной бортовой топливной системы

Проверку на герметичность элементов КБТС допускается проводить:

- путем заполнения КБТС газом с температурой окружающей среды при рабочем давлении с последующим обмыливанием разъемных соединений или по падению давления в системе ("теплая" опрессовка);

- путем заполнения КБТС жидким азотом или СПГ при рабочем давлении, с визуальным контролем разъемных соединений и сварных швов ("холодная" опрессовка).

9.4 Проверка качества теплоизоляции и времени бездренажного хранения

9.4.1 Целью испытаний является подтверждение испарения и длительности бездренажного хранения, приведенных в технической документации на

изделие.

9.4.2 Все клапаны и вентили перед испытаниями закрывают и проверяют на герметичность.

9.4.3 Качество теплоизоляции определяют потерями от испарения жидкого азота, которые должны быть не более 0,18 кг/ч.

9.4.4 Длительность бездренажного хранения СПГ определяют по скорости повышения давления в БКТ при закрытых вентилях и клапанах. Повышение давления определяют по манометру КБТС.

9.4.5 Если время бездренажного хранения составляет более 72 ч, то допускается определять длительность бездренажного хранения расчетным путем, используя экспериментально определенные значения теплопритоков к БКТ.

9.5 Состав и порядок согласования эксплуатационной документации на криогенную бортовую топливную систему

9.5.1 Эксплуатационная документация на КБТС включает в себя следующее:

- инструкцию по эксплуатации;

- паспорт на БКТ установленной формы;

- паспорт-формуляр на КБТС согласно ГОСТ 2.601.

9.5.2 Разрешение на ввод в эксплуатацию КБТС выдается лицом, назначенным приказом по организации, эксплуатирующей КБТС, для осуществления производственного контроля соблюдения требований промышленной безопасности при эксплуатации сосудов, работающих под давлением, на основании документации изготовителя после технического освидетельствования и проверки организации обслуживания.

9.5.3 Разрешение на ввод КБТС в эксплуатацию записывают в паспорте-формуляре на КБТС.

9.5.4 На каждую КБТС после выдачи разрешения на его эксплуатацию должны быть нанесены краской на видном месте или на специальной табличке форматом не менее 200 мм на 150 мм:

- регистрационный номер предприятия;

- рабочее и пробное давление;

- число, месяц и год последующих осмотров и испытаний.

9.6 Контроль воздушной среды

9.6.1 Контроль воздушной среды вокруг КБТС с помощью газоанализатора или сигнализатора проводят при рабочих температурах без специального повышения давления в системе.

9.6.2 Контроль воздушной среды проводят при ежедневном осмотре КБТС:

- для проверки узла заправки на герметичность при заправке КБТС СПГ;

- при подозрениях на нарушение герметичности КБТС.

9.6.3 В качестве сигнализаторов допускается использовать приборы (течеискатели) с допускаемой абсолютной погрешностью не ниже $\pm$ 5 % нижнего концентрационного предела распространения пламени, то есть погрешность не должна превышать 0,25 %.

9.6.4 Перед проверкой на герметичность следует убедиться, что отсутствует фоновая концентрация метана в атмосферном воздухе.

Приложение А
(обязательное)

Теплофизические свойства метана

А.1 Теплофизические свойства природного газа соответствуют свойствам жидкого метана, указанным в таблице А.1 и рисунках А.1, А.2, А.3.

Таблица А.1 - Теплофизические свойства жидкого метана при нормальном атмосферном давлении

Наименование показателя	Значение показателя
Равновесная температура T_S	111 К
Теплота испарения r	512,4 кДж/(кг·К)
Плотность жидкости ρ'	424,5 кг/м^3
Плотность насыщенного пара ρ''	1,8 кг/м^3
Теплоемкость жидкости c_S	3,46 кДж/(кг·К)
Теплоемкость газа c_P	2,2 кДж/(кг·К)

Рисунок А.1 - Равновесные температура и давление жидкого метана

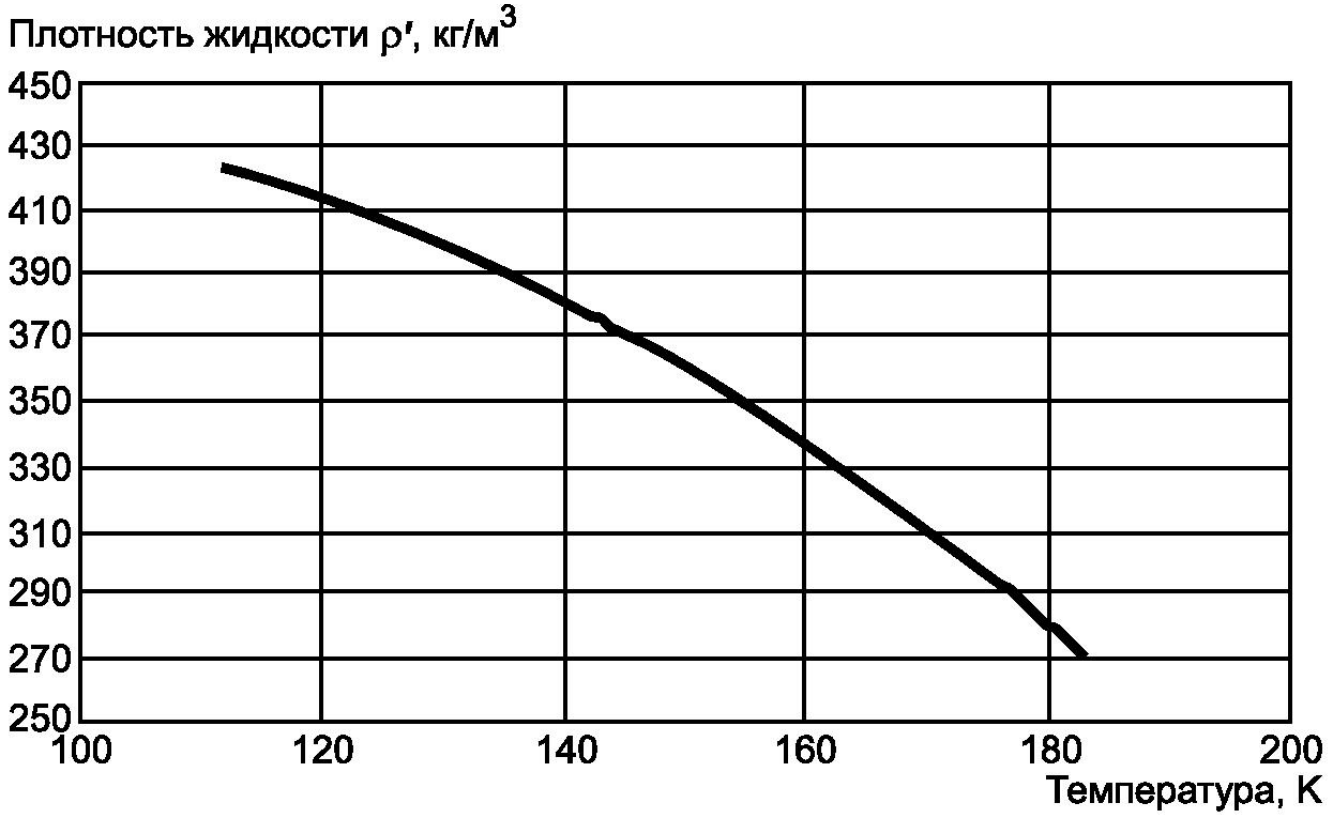


Рисунок А.2 - Плотность жидкого метана

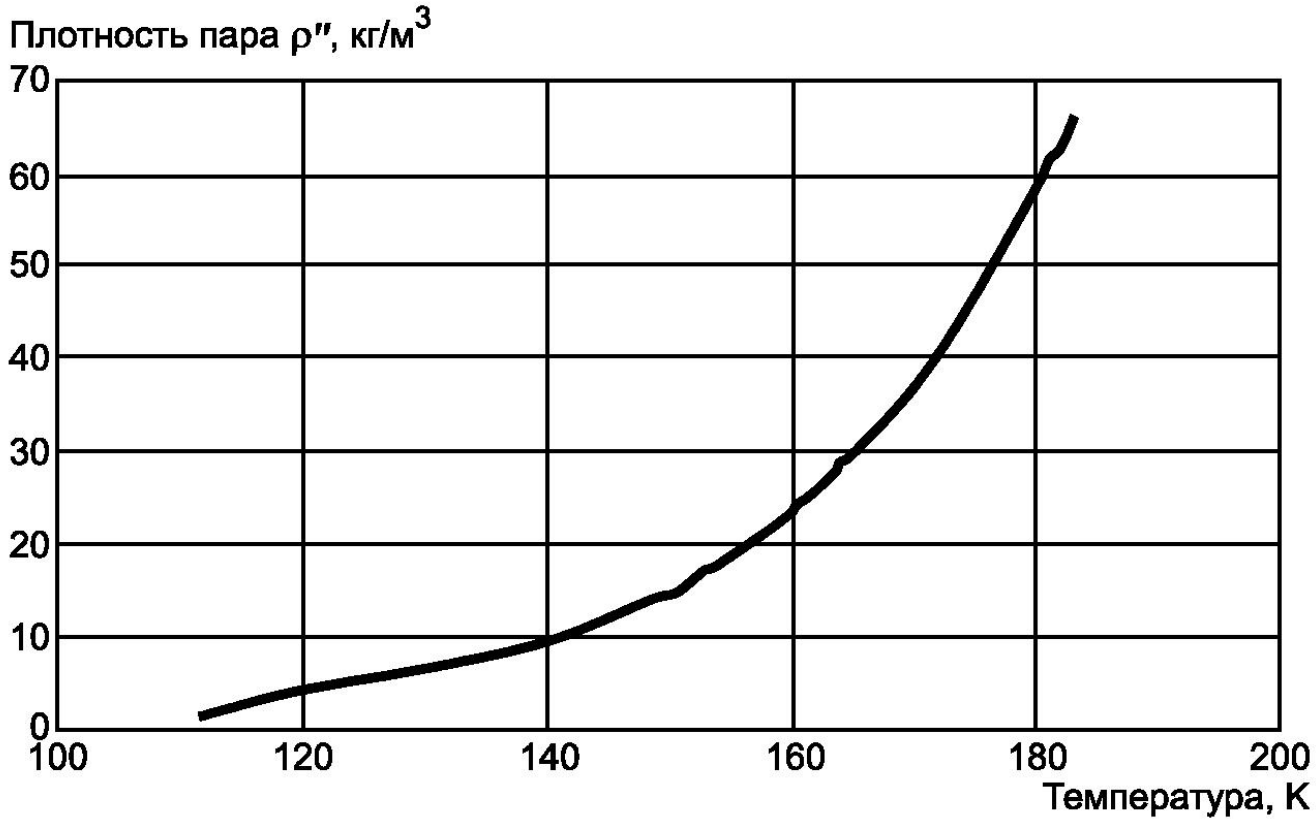
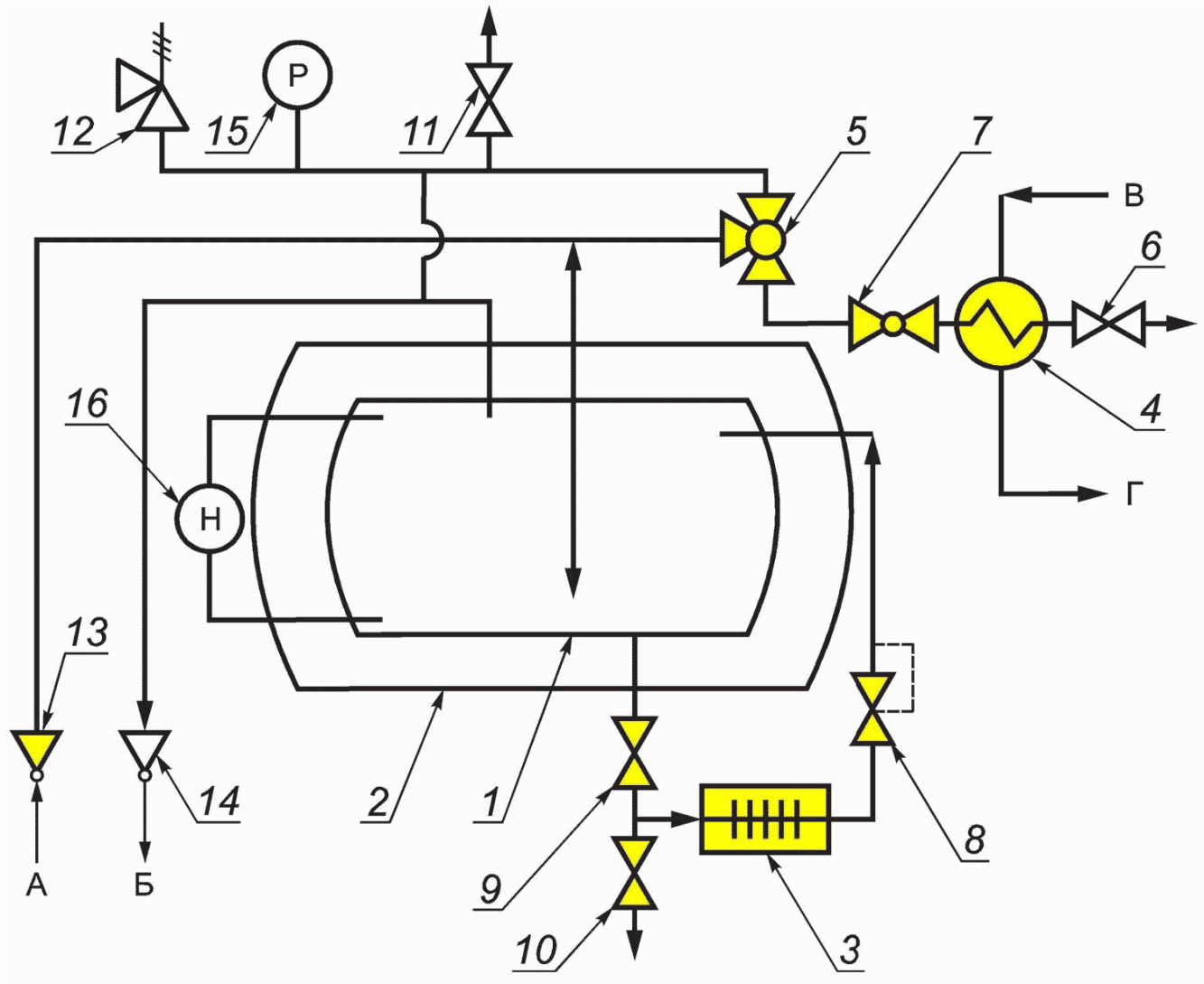


Рисунок А.3 - Плотность насыщенного пара метана

Приложение Б
(обязательное)

Технологическая схема криогенной топливной системы

Б.1 Упрощенная пневмогидравлическая схема КБТС показана на рисунке Б.1.



1 - внутренний сосуд БКТ; 2 - наружный кожух БКТ; 3 - испаритель самонаддува; 4 - продукционный испаритель-газификатор; 5 - переключатель жидкостной и паровой фазы; 6 - магистральный вентиль; 7 - скоростной клапан; 8 - регулятор давления в БКТ; 9 - вентиль испарителя самонаддува; 10 - вентиль аварийного слива жидкости из бака; 11 - дренажный вентиль; 12 - предохранительный клапан; 13, 14 - обратные клапаны; 15 - манометр; 16 - указатель уровня; А - заправочная линия; Б - дренажная линия; В, Г - вход и выход теплоносителя из продукционного испарителя-газификатора; - места возможной кристаллизации высококипящих примесей в СПГ

Рисунок Б.1 - Упрощенная пневмогидравлическая схема КБТС

Приложение В
(обязательное)

Расчет скорости испарения сжиженного природного газа при хранении с открытым дренажным вентилем

В.1 При хранении СПГ в БКТ с открытым дренажным вентилем и при постоянном атмосферном давлении скорость испарения жидкости G, кг/с, вычисляют по формуле

$$G = \frac{Q}{r}, \qquad (В.1)$$

где Q - теплоприток к внутреннему сосуду Вт;

r - теплота испарения СПП, Дж/кг.

Если атмосферное давление меняется, то скорость испарения жидкости G, кг/с, вычисляют по формуле

$$G = \frac{Q}{r} - \frac{M_S c_S T_S}{r^2 \rho''} P_t, \qquad (В.2)$$

где M_S - масса жидкости в сосуде, кг;

c_S - теплоемкость жидкости, Дж/кг;

T_S - равновесная температура, К;

ρ'' - плотность паров жидкости, кг/м^3;

P_t - температурные изменения атмосферного давления, Па/с (при повышении давления данная величина имеет положительное значение, при снижении давления - отрицательное).

Приложение Г
(обязательное)

Расчет повышения давления в сосуде при бездренажном хранении сжиженного природного газа и допустимая степень заполнения криогенного топливного бака

Г.1 Время повышения давления от начального до конечного значения (длительность бездренажного хранения) t, ч, вычисляют по формуле

$$t = 0{,}8\,\frac{(\Psi M_S c_S + M_W c_W)(T_S - T_{S0})}{3600\,Q},$$

(Г.1)

где Ψ - степень заполнения сосуда жидкостью;

M_S - масса жидкости в сосуде, кг;

c_S - теплоемкость жидкости, Дж/$кг \cdot K$;

M_W - масса стенок сосуда, кг;

c_W - теплоемкость материала стенки сосуда, Дж/$кг \cdot K$;

T_S - конечная равновесная температура жидкости, К;

T_{S0} - начальная равновесная температура жидкости, К;

Q - тепловой поток к сосуду, Вт

Пример - Расчет времени, за которое давление в БКТ, заполненном СПГ, повысится до предельного значения, если объем бака 300 л (0,3 м^3), масса внутреннего сосуда 160 кг, материал - сталь 12Х18Н9Т, степень заполнения 0,85, теплоприток к баку 6 Вт, начальное давление в баке 0,1 МПа, рабочее давление 1 МПа, теплоемкость стали 12Х18Н9Т равна 300 Дж/$кг \cdot K$.

По рисунку А.1 определяем температуры равновесной жидкости при давлениях 0,1 МПа и 1,0 МПа:

T_{S0} = 111 К,

T_S = 148 К.

Определяем плотность жидкости при начальном давлении (см. рисунок А.2)

$$\rho' = 424 \text{ кг/м}^3$$

и массу жидкости в сосуде при полном заполнении

$$M_S = \rho' \cdot V = 424 \cdot 0{,}3 = 127 \text{ кг}$$

.

Время повышения температуры от T_{S0} до T_S вычисляем по формуле (Г.1)

$$t = 0{,}8 \frac{(0{,}85 \cdot 127 \cdot 3460 + 160 \cdot 300) \cdot (148 - 111)}{3600 \cdot 6} = 578 \text{ ч} = 24 \text{ сут}$$

.

Таким образом, время бездренажного хранения полного бака составит около 24 сут, при этом давление в баке повысится до 1 МПа (10 бар).

Определяем время, за которое давление в том же баке поднимется с 0,3 МПа до 1 МПа, если масса газа равна 42 кг (степень заполнения равна 0,3):

$$t = 0{,}8 \frac{(42 \cdot 3460 + 160 \cdot 300) \cdot (148 - 126)}{3600 \cdot 6} = 197 \text{ ч} = 8{,}2 \text{ сут}$$

.

Из вышеприведенного следует, что уменьшение массы жидкости в сосуде и повышение начального давления (и, соответственно, начальной температуры) приводят к сокращению длительности бездренажного хранения.

Г.2 Максимально допустимую при заправке СПГ степень заполнения БКТ ψ_{max} вычисляют по формуле

$$\psi_{max} = \frac{\rho'_m}{\rho'_0}$$

,

(Г.2)

где ρ'_m - плотность жидкости при максимальном значении давления, кг/м^3;

ρ'_0 - плотность жидкости при давлении заправки, кг/м^3.

Пример - Расчет максимальной степени заполнения БКТ при заправке СПГ в случае, если давление заправки равно 0,1 МПа, а рабочее давление сосуда равно 1,0 МПа.

По рисунку А.1 определяем значение температур, равновесных давлению заправки (0,1 МПа) и рабочему давлению (1,0 МПа). Имеем T_S = 111 К и T_S = 148 К. По рисунку А.2 определяем плотности жидкости при 111 К и 148 К, соответственно ρ'_0 = 420 кг/м^3 и ρ'_m = 360 кг/м^3. Значение максимально допустимой степени заполнения БКТ при заправке вычисляем по формуле (Г.2)

$$\psi_{max} = \frac{360}{420} = 0,85$$

.

Приложение Д
(обязательное)

Расчет процесса заправки криогенной бортовой топливной системы

Д.1 При расчете определяют следующее:

- время заполнения БКТ до заданного количества жидкости;

- потери жидкости при заправке.

Заправку проводят при следующих условиях: давление в заправочном резервуаре поддерживают постоянным, СПГ поступает в БКТ в однофазном состоянии (жидкость недогрета до равновесного состояния), длительность заправки, по возможности, минимальна ("быстрая" заправка).

Заправка сосуда криогенной жидкостью включает в себя два процесса: охлаждение стенок сосуда и заполнение его жидкостью. При "быстрой" заправке "теплого" сосуда заполнение может закончиться раньше, чем стенки полностью охладятся. Поэтому после окончания заправки давление в сосуде растет, что допустимо для БКТ.

Расчет процесса заправки проводят, как правило, с помощью специальных программных средств, но для приближенной оценки основных параметров заправки КБТС допускается использовать упрощенные алгоритмы.

Д.2 При расчетах значение коэффициента трения λ принимают равным 0,02-0,03, значения коэффициента использования ресурса холода жидкости k - равным 0,8-1,0, при этом чем больше длительность процесса заправки, тем выше значение коэффициента k.

Д.3 Среднюю температуру стенки внутреннего сосуда θ_m, К, вычисляют по формуле

$$\theta_m = \frac{\theta_0 + T_S}{2},$$

(Д.1)

где θ_0 - начальная температура стенки внутреннего сосуда, К;

T_S - равновесная температура при давлении Р, К.

Приложение Е
(обязательное)

Определение длительности процесса и расхода газа на отогрев внутреннего сосуда криогенного бака

Е.1 Длительность отогрева t_G, с, внутреннего сосуда БКТ при постоянном значении расхода греющего газа вычисляют по формуле

$$t_G = \frac{-M_W c_W}{Gc_P \left(1 - \exp(-\frac{\alpha F_W}{Gc_P})\right)} \ln(\frac{T_0 - \theta_{00}}{T_0 - \theta_0}),$$

(Е.1)

где M_W - масса стенки внутреннего сосуда, кг;

c_W - теплоемкость материала стенки сосуда, Дж/$кг \cdot K$;

T_0 - температура газа, поступающего на отогрев, К;

θ_0 , θ_{00} - начальная и конечная температуры стенки при отогреве, К;

G - расход газа, кг/с;

c_P - изобарная теплоемкость газа, Дж/$кг \cdot K$;

α - коэффициент теплоотдачи от стенки к газу, Вт/$м^2 \cdot K$, значения которого

при естественной конвекции представлены на рисунке Е.1;

F_W - поверхность внутреннего сосуда, м^2.

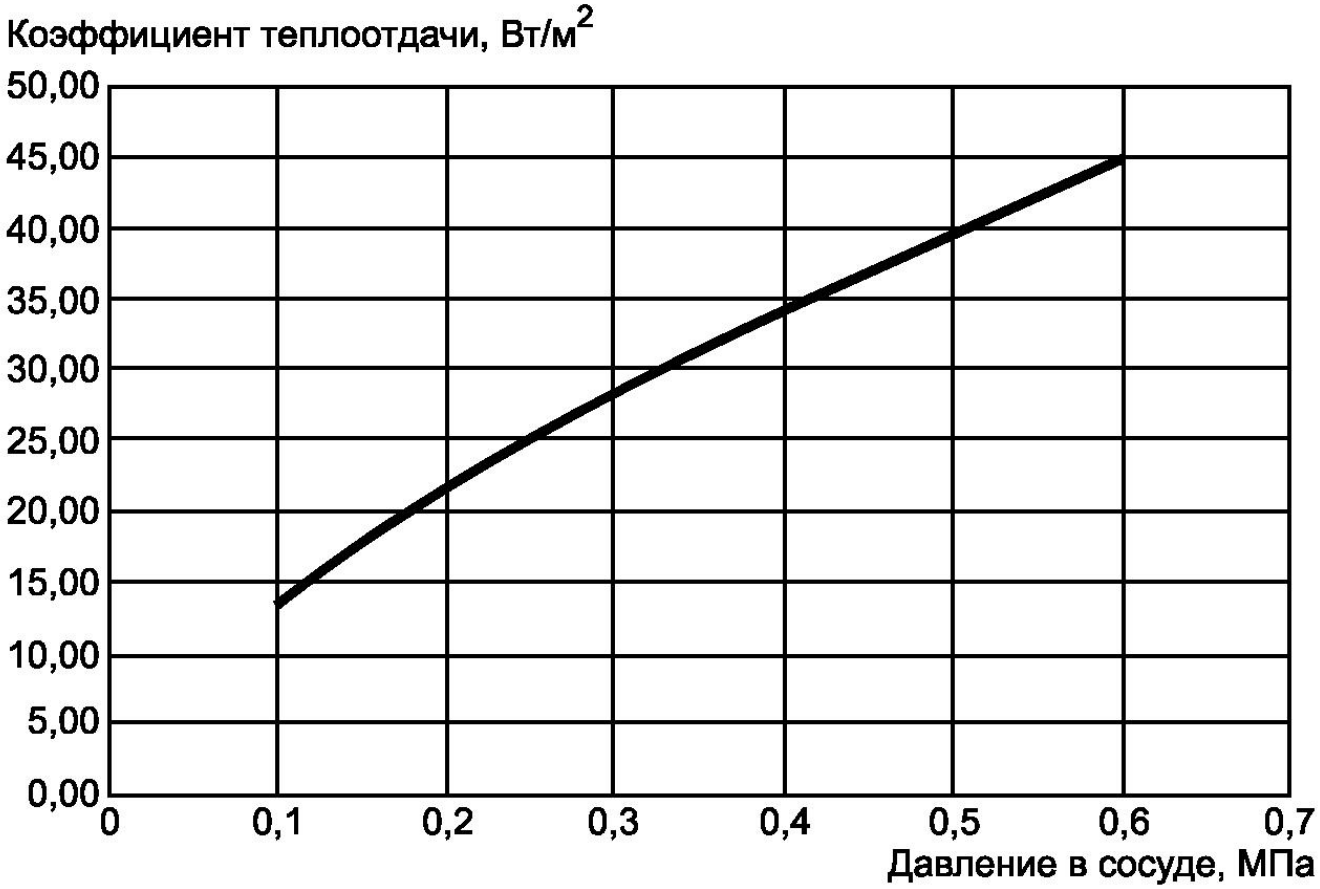


Рисунок Е.1 - Значения коэффициента теплоотдачи при естественной конвекции для метана

Общий расход греющего газа на отогрев сосуда M_G, кг, вычисляют по формуле

$$M_G = Gt_G \quad (E.2)$$

Пример - Расчет длительности отогрева и расхода природного газа на отогрев БКТ объемом 290 дм^3, если масса внутреннего сосуда 95 кг, поверхность внутреннего сосуда 2,9 м^2, материал сосуда - сталь 12Х18Н9Т теплоемкостью 300 Дж/кг·К, начальная температура сосуда 120 К, температура газа для отогрева 320 К, расход газа на отогрев 0,003 кг/с, давление газа в сосуде в процессе отогрева поддерживается на уровне 0,1 МПа.

По рисунку Е.1 определяем значение коэффициента теплоотдачи α = 13,6 Вт/м^2·К.

По формуле (Е.1) вычисляем

$$t_G = \frac{-95 \cdot 300}{0{,}003 \cdot 2200 \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{13{,}6 \cdot 2{,}9}{0{,}003 \cdot 2200}\right)\right)} \cdot \ln\left(\frac{320 - 280}{320 - 120}\right) = 6800 \text{ с}$$

.

Количество газа на отогрев вычисляем по формуле (Е.2)

$$M_G = 0{,}003 \cdot 6800 = 20{,}4 \text{ кг}$$

.

Таким образом, криогенный топливный бак возможно отогреть примерно за 2 ч. Количество метана на отогрев составит 20,4 кг или около 5 баллонов объемом 40 дм^3 каждый с давлением 15 МПа.

Приложение Ж
(обязательное)

Перечень оборудования, приспособлений и материалов, применяемых при промывке криогенной бортовой топливной системы растворителями, и порядок проведения работ

Ж.1 Для проведения промывки КБТС необходимы:

- промышленный тепловентилятор мощностью от 1,5 до 2 кВт для подачи воздуха с температурой до 300 °С (573,15 К) в обезжириваемую систему;

- переходник для соединения тепловентилятора с обезжириваемой системой;

- емкости для слива грязного растворителя;

- чистый растворитель на основе фтордихлорэтана с массовой долей фтордихлорэтана не менее 99,5 % и массовой долей обезжиривающей присадки в пределах от 0,15 % до 0,25 % включительно с характеристиками в соответствии с таблицей Ж.1, или метилен хлористый по ГОСТ 9968, или нефрас - С 50/170 по ГОСТ 8505;

- воронки для заливки растворителя;

- ванна для промывки арматуры;

- ершики.

Таблица Ж.1 - Свойства растворителей

Свойства растворителей	Наименование растворителей	
	Растворитель на основе фтордихлорэтана	Метилен хлористый
Химическая формула	CH_3CFCl_2	CH_2Cl_2
Плотность жидкости при 20 °С (293,15 К), кг/дм^3	1,25	1,336
Температура кипения при давлении 0,1 МПа, °С (К)	31,8 (304,95)	40,0 (313,15)
Горючесть	Трудногорючая жидкость	Трудногорючая жидкость
Температура воспламенения на воздухе	-	-
Концентрационные пределы распространения пламени в воздухе, %	5,6-13,4	16,2-19,1
Предельно допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны (ПДК), мг/м^3	1000	50
Класс опасности	4	4

Ж.2 Порядок проведения обезжиривания

Ж.2.1 Промывку КБТС от загрязнений необходимо проводить после отогрева системы до положительных температур горячим воздухом или азотом. Узлы системы, которые предположительно могли забиться загрязнениями (испаритель, арматура), следует отсоединять от системы и промывать по отдельности. Промывку внутреннего сосуда следует осуществлять в сборе. Температура окружающей среды при промывке растворителями должна находиться в пределах от 12 °С до 20 °С (от 285,15 до 293,15 К).

Ж.2.2 Промывка испарителей

Для промывки испарителей необходимо:

- закрепить испаритель в вертикальном положении так, чтобы торцевые штуцеры трубопровода находились сверху;

- через воронку залить в трубопровод испарителя растворитель, заполнив его на 3/4 объема; отверстия в штуцерах закрыть фторопластовыми или деревянными пробками;

- покачивая испаритель из стороны в сторону, необходимо добиться, чтобы вся внутренняя поверхность трубопровода омывалась растворителем; промывку проводить в течение 15-20 мин, затем растворитель из испарителя слить в герметично закрывающуюся емкость;

- если при сливе визуально обнаружится, что в растворителе много загрязнений (жировых загрязнений), то промывку следует повторить;

- если промывка проводилась растворителями на основе фтордихлорэтана или метиленом хлористым по ГОСТ 9968, то для удаления остатков растворителя

продувку испарителя допускается проводить горячим воздухом [температура от 40 °С до 50 °С (от 313,15 до 323,15 К)]. При промывке нефрасом удаление его остатков следует проводить горячим азотом. Время продувки от 7 до 10 мин.

Ж.2.3 Промывка арматуры

Для промывки арматуры необходимо:

- установить арматуру в ванну, высота бортов которой обеспечивала бы заливку растворителя до уровня, полностью закрывающего проточную часть арматуры (материал ванны - металлические сплавы, полиэтилен);

- залить в ванну растворитель до уровня, закрывающего проточную часть арматуры;

- провести промывку арматуры методом погружения в течение от 15 до 20 мин, периодически открывая и закрывая арматуру, а также протирая проточную часть ершиком;

- по окончании промывки извлечь арматуру из растворителя и продуть ее горячим воздухом [температура от 50 °С до 100 °С (от 323,15 до 373,15 К)]. Если промывка проводилась нефрасом, то продувку следует проводить азотом.

Ж.2.4 Промывка внутреннего сосуда БКТ

Внутренний сосуд БКТ имеет слив в нижней точке днища.

Для промывки БКТ необходимо:

- залить в сосуд через штуцер заправки от 8 до 10 $дм^3$ растворителя;

- выдержать растворитель в сосуде в течение 30 мин, слить растворитель в герметично закрывающуюся емкость;

- если в сливаемом растворителе визуально обнаружено значительное количество загрязнений, то промывку следует повторить;

- после слива растворителя продуть сосуд горячим воздухом [температура от 40 °С до 50 °С (от 313,15 до 323,15 К)] или азотом в течение 30 мин.

Внутренний сосуд БКТ имеет патрубок слива, расположенный не в нижней точке днища.

Для промывки БКТ необходимо:

- залить во внутренний сосуд БКТ через штуцер заправки растворитель в количестве в 3-4 раза большем, чем объем несливаемого остатка;

- выдержать растворитель в сосуде в течение 30 мин, слить грязный растворитель в герметично закрывающуюся емкость;

- залить в сосуд новую порцию чистого растворителя (по объему равную первоначальной порции), разбавив остаток грязного растворителя в сосуде, и слить полученную смесь в герметично закрываемую емкость;

- продуть сосуд горячим воздухом или азотом до полного испарения остатка растворителя (отсутствие запаха растворителя в выходящем газе);

- если для промывки в качестве растворителя использовали нефрас, то продувку следует проводить только азотом.