ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 72092— 2025

Техника криогенная

АГРЕГАТЫ ТУРБОДЕТАНДЕРНЫЕ

Общие технические требования

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2025

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Акционерным обществом криогенного машиностроения (АО «Криогенмаш») и Федеральным государственным бюджетным учреждением «Российский институт стандартизации» (ФГБУ «Институт стандартизации»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 114 «Кислородное и криогенное оборудование»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 мая 2025 г. № 469-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном 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 Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2025

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины, определения, сокращения и обозначения 2
4 Технические требования 3
5 Правила приемки и требования контроля 10
6 Указания по монтажу и эксплуатации, в том числе требования хранения, транспортирования и утилизации 12
7 Гарантии изготовителя 13
Приложение А (обязательное) Допустимые силы, действующие на патрубки 14
Библиография 15

Введение

Настоящий стандарт разработан в соответствии с требованиями законодательства Российской Федерации в сфере технического регулирования, области обеспечения промышленной безопасности, охраны труда, пожарной безопасности и других нормативных документов рабочей группой специалистов Акционерного общества криогенного машиностроения (АО «Криогенмаш») под общим руководством Главного конструктора АО «Криогенмаш» Д.Н. Шипова и Федеральным государственным бюджетным учреждением «Российский институт стандартизации» (ФГБУ «Институт стандартизации»).

Настоящий стандарт устанавливает основные технические требования к турбодетандерным агрегатам, применяемым в криогенной технике, условия выбора и применения основных материалов для их изготовления, а также требования к изготовлению, испытаниям и условиям нормальной эксплуатации.

Стандарт предназначен для специалистов, осуществляющих проектирование, изготовление, монтаж, пусконаладочные работы и эксплуатацию турбодетандерных агрегатов, относящихся к отрасли криогенной техники.

В настоящем стандарте реализованы нормы технических регламентов Таможенного союза [1]—[4] и правил в области промышленной безопасности [5]—[9].

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Техника криогенная

АГРЕГАТЫ ТУРБОДЕТАНДЕРНЫЕ

Общие технические требования

Cryogenic equipment. Turboexpanders.
General technical requirements

Дата введения — 2025—09—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает требования к проектированию, устройству, изготовлению, испытанию, монтажу, эксплуатации турбодетандерных агрегатов, предназначенных для понижения температуры потоков воздуха, азота, гелия и других негорючих газов. Турбодетандерные агрегаты применяются в составе криогенных установок на нефтегазовых и химических предприятиях и на специальных установках.

Настоящий стандарт не распространяется на турбодетандерные агрегаты, предназначенные для применения во взрывоопасных зонах, а также на агрегаты, мощность на валу которых более 3 МВт.

Примечание — Наряду с термином «турбодетандерный агрегат» может применяться термин «агрегат».

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 12.2.003 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности

ГОСТ 12.2.016 Система стандартов безопасности труда. Оборудование компрессорное. Общие требования безопасности

ГОСТ 12.2.049 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие эргономические требования

ГОСТ 15150—69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды

ГОСТ 24297 Верификация закупленной продукции. Организация проведения и методы контроля

ГОСТ 30546.1 Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям и методы расчета их сложных конструкций в части сейсмостойкости

ГОСТ 34233.1 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования

ГОСТ 34233.4 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений

ГОСТ ИСО 1940-1 Вибрация. Требования к качеству балансировки жестких роторов. Часть 1. Определение допустимого дисбаланса

ГОСТ ИСО 1940-2 Вибрация. Требования к качеству балансировки жестких роторов. Часть 2. Учет погрешностей оценки остаточного дисбаланса

ГОСТ Р 52630—2012 Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия

ГОСТ Р 71142 Техника криогенная. Установки разделения воздуха криогенные и смежное оборудование отрасли криогенной техники. Термины и определения

Издание официальное

ГОСТ Р 71143 Техника криогенная. Аппараты. Термины и определения

ГОСТ Р ИСО 13373-1 Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 1. Общие методы

СП 14.13330 Строительство в сейсмических районах

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов (сводов правил) 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 по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. Сведения о действии сводов правил целесообразно проверить в Федеральном информационном фонде стандартов.

3 Термины, определения, сокращения и обозначения

3.1 В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р 71142, ГОСТ Р 71143, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **строповка:** Совокупность методов обвязки и зацепки грузов для их подъема и перемещения подъемными сооружениями.

3.1.2 **термообработка:** Совокупность операций нагрева, выдержки, охлаждения твердых металлических сплавов с целью получения заданных свойств за счет изменения внутреннего строения структуры.

3.1.3 **захолаживание:** Процесс понижения температуры отдельных частей агрегатов от температуры окружающей среды до заданной.

3.1.4 **термоциклирование:** Процесс резкой смены температурного режима, повторяющийся несколько раз.

3.1.5 **помпаж:** Неустойчивая работа агрегата, при которой наблюдается резкое изменение подачи от наибольшего значения до нуля, колебания напора в значительных пределах, гидравлические удары, повышенный шум и вибрация.

3.2 В настоящем стандарте применены следующие сокращения и обозначения:

ЗИП — запасные части, инструменты и принадлежности;

ТД — турбодетандер;

ТДА — турбодетандерный агрегат;

КД — конструкторская документация;

КИП — контрольно-измерительный прибор;

КПД — коэффициент полезного действия;

МЧ — монтажный чертеж;

НД — нормативный документ (нормативная документация);

ОТК — отдел технического контроля;

РЭ — руководство по эксплуатации;

ТР ТС (ТР ЕАЭС) — технический регламент Таможенного союза (технический регламент Евразийского экономического союза);

УЗК (УЗД) — ультразвуковой контроль (ультразвуковая дефектоскопия);

MSK-64 — 12-балльная шкала интенсивности землетрясений Медведева — Шпонхойера — Карника;

P — расчетное давление.

4 Технические требования

4.1 Основные параметры и характеристики (свойства)

4.1.1 Номинальные значения технических параметров устанавливаются в КД на конкретный агрегат и должны содержать, как минимум, следующие параметры:

- режим работы;
- рабочий газ, тип газа, состав (при необходимости);
- расход газа отдельно на входе в детандер и компрессор (если применимо), кг/час;
- давление газа на входе и выходе отдельно по детандеру и компрессору, МПа;
- температуру рабочего газа на входе и выходе, отдельно по детандеру и компрессору, К (°С);
- КПД изоэнтропийный детандера и политропический компрессора, %;
- частоту вращения ротора, об/мин;
- холодопроизводительность детандера, кВт;
- расход, давление, чистоту воздуха на пневмоуправление;
- расход, давление, температуру, чистоту газа на наддув лабиринтных уплотнений, запирание холодных утечек и другие нужды;
- расход, давление, температуру, требования по содержанию примесей жидкости на охлаждение (если применимо);
- расход, температуру атмосферного воздуха (если применимо);
- установленную мощность, требования к питающей сети.

Примечание — Для агрегатов на масляных подшипниках дополнительно указывают характеристики маслосистемы: давление, температуры и расход масла.

4.1.2 Во время проведения пусконаладочных работ агрегаты должны обеспечивать длительную работу при отклонении параметров рабочей среды от заданных. При этом в эксплуатационной документации должны быть отражены допустимые пределы отклонений.

4.1.3 Для агрегатов должен быть проведен анализ влияния отклонения параметров рабочей среды от заданных на возможность образования жидкой фазы в проточной части агрегата, при необходимости должны быть приняты меры по недопустимости образования жидкой фазы или меры по исключению влияния жидкой фазы на работу агрегата.

4.2 Классификация

Условное обозначение ТД состоит из буквенно-цифрового индекса.

Основное буквенное обозначение изделия определяется по типу агрегата в соответствии с таблицей 1.

В цифровом обозначении основных показателей изделия через дробь указывается:

- номинальный массовый расход на входе в детандерную ступень, т/ч;
- давление газа на входе в детандерную ступень, МПа (изб).

В дополнительном обозначении после цифрового обозначения через тире указывается тип подшипников опор в соответствии с таблицей 2.

Таблица 1 — Условное обозначение типа агрегата

Тип агрегата	Условное обозначение
С газодувкой	Гд
С торможением маслосистемой (тормозным гидравлическим устройством)	Гт
С компрессорной ступенью	К
С электродвигателем (электрогенератором)	Э
Для замкнутых холодильных циклов	Х

Таблица 2 — Тип подшипников опор

Тип подшипников опор	Условное обозначение
Масляные гидродинамические (гидростатические)	М
Газостатические (газодинамические)	А
Магнитные	Мг
Качения	К

По решению разработчика допускается иная классификация ТД.

4.3 Требования к конструкции

4.3.1 Агрегат должен быть спроектирован на расчетную точку, обеспечивающую рабочие параметры, указанные в техническом задании, при этом должны быть приняты во внимание 4.1.1—4.1.3 настоящего стандарта.

При необходимости расширения рабочего диапазона агрегата такие требования должны быть отражены в техническом задании.

Агрегат должен соответствовать требованиям технических регламентов Таможенного союза [1]—[4] и правил в области промышленной безопасности [5]—[9].

4.3.2 Агрегат проектируется на условиях размещения, отраженные в техническом задании.

4.3.3 Агрегат должен соответствовать второй группе сейсмобезопасности по ГОСТ 30546.1 при воздействии землетрясений интенсивностью шесть баллов включительно и третьей группе сейсмобезопасности при воздействии землетрясений интенсивностью до семи баллов включительно в соответствии с MSK-64 «Шкала сейсмической интенсивности» и СП 14.13330 при уровне установки над нулевой отметкой до 10 м. Возможность выдерживать сейсмические воздействия большей интенсивности должна быть отражена в техническом задании.

4.3.4 Внешние элементы агрегата (корпусы и рама) должны быть спроектированы с учетом нагрузок от трубопроводов, действующих на патрубки агрегата. Величина допускаемых нагрузок на патрубки определяется согласно приложению А.

4.3.5 Агрегат должен быть выполнен в габаритах, позволяющих произвести транспортировку любым видом транспорта. При необходимости конструкция агрегата выполняется блоками, обеспечивающими возможность такой транспортировки.

4.3.6 Конструкция агрегата должна обеспечивать демонтаж и взаимозаменяемость всех сборочных единиц и деталей для выполнения ремонта. Запасные части, входящие в комплект запасных инструментов и приспособлений, при установке не должны требовать подгонки по месту.

4.3.7 Если для выполнения операций по техническому обслуживанию и ремонту необходимы специальный инструмент и приспособления, за исключением подъемно-транспортных, такие приспособления и инструмент должны быть включены в состав комплекта запасных частей, инструментов, приспособлений.

4.3.8 Конструкция агрегата должна, по возможности, обеспечивать простой доступ к сборочным единицам и деталям, требующим осмотра, технического обслуживания и ремонта, без полной разборки и вскрытия других элементов конструкции.

4.3.9 Для удобства и безопасности проведения работ в конструкции должны быть предусмотрены необходимые места для крепления грузоподъемных механизмов и приспособлений.

4.3.10 Корпусные части агрегата должны быть спроектированы таким образом, чтобы не допустить разлета частей, которые могут появиться в результате поломки вращающихся деталей.

4.3.11 Расчетное давление P корпусов агрегата, подверженных действию внутреннего избыточного давления или вакуума, должно быть не менее заданного давления настройки предохранительного клапана. Если такое давление не задано, то расчетное давление корпусов с детандерной стороны должно быть не менее 1,1 от заданного максимального давления на входе в детандер, а с компрессорной стороны — не менее 1,25 от максимального давления нагнетания.

4.3.12 Прочностные расчеты корпусов рекомендуется выполнять в соответствии с ГОСТ 34233.1. При выполнении расчетов должны учитываться механические свойства материалов при рабочей температуре.

4.3.13 Болтовые соединения корпусов должны проектироваться с учетом нагрузок от гидравлического давления внутри корпуса, усилий, приходящих от патрубков, и усилий, необходимых для обжатия прокладки и обеспечения герметичности соединения.

4.3.14 Расчетные напряжения в болтах/шпильках при усилии затяжки не должны превышать 75 % от минимального предела текучести материала болта/шпильки, определенного по соответствующим стандартам или техническим условиям.

4.3.15 Расчетные напряжения в болтах/шпильках при гидравлических испытаниях на прочность не должны превышать 90 % от минимального предела текучести материала болта/шпильки, определенного по соответствующим стандартам или техническим условиям.

4.3.16 Расчетные напряжения в болтах/шпильках при гидравлических испытаниях на герметичность не должны превышать 75 % от минимального предела текучести материала болта/шпильки, определенного по соответствующим стандартам или техническим условиям.

При оценке усилий в болтах/шпильках и определении их напряженно-деформированного состояния рекомендуется использовать методики по ГОСТ 34233.4.

4.3.17 Рекомендуется максимально использовать шпильки.

4.3.18 Ширина металла между краем отверстия и полостью с давлением должна быть не менее 12 мм; если должен быть припуск на коррозию, он прибавляется к данной величине. Глубина резьбы в отверстии должна быть не менее 1,25 диаметра резьбы. Уплотнение резьбовых отверстий с целью герметизации не допускается.

4.3.19 Рекомендуется для деталей из аустенитных нержавеющих сталей, подверженных воздействию низких температур, проводить термоциклирование до окончательной обработки.

4.3.20 Рама агрегата должна обеспечивать надежное крепление элементов агрегата во время эксплуатации, транспортирования, изготовления, монтажа.

4.3.21 Рама должна иметь места крепления к фундаменту, отверстия для анкерных болтов, также должны быть предусмотрены регулировочные болты для выравнивания агрегата в горизонтальной плоскости во время монтажа.

На раме агрегата должны быть предусмотрены места для контроля горизонтальности установки во время монтажа.

4.3.22 Неперпендикулярность механически обработанных поверхностей, не указанных в конструкторской документации, не должна превышать 0,1 мм на длине 100 мм.

Неперпендикулярность поверхностей сварных конструкций должна быть не более 0,3 мм на длине 100 мм.

4.3.23 Рабочие колеса должны быть рассчитаны на прочность так, чтобы при частоте вращения, равной 1,3 расчетной, приведенные напряжения в любом сечении были не более 0,95 предела текучести материала колеса. Допускается учитывать изменения свойств материалов колеса вследствие упрочнения пластическим деформированием.

4.3.24 Сопряжения лопаток рабочих колес с дисками не должны иметь острых кромок.

4.3.25 Рабочие колеса должны подвергаться разгону до скорости 115 % от аварийной в течение как минимум 1 мин. Перед разгоном и после него контролируются посадочные места. Размеры посадочных мест после разгона не должны выходить за пределы допуска.

Допускается проводить испытания рабочих колес совместно с испытаниями ходовых узлов машины.

4.3.26 Класс точности балансировки роторов в сборе должен быть не хуже G2,5 в соответствии с ГОСТ ИСО 1940-1, ГОСТ ИСО 1940-2.

4.3.27 Для обеспечения сохранения балансировки и однозначной установки деталей ротора в процессе сборки детали ротора должны быть промаркированы нестираемым, обеспечивающим однозначное прочтение способом.

4.3.28 При проектировании агрегата необходимо провести динамический анализ ротора и выполнить:

- расчет критических частот вращения и соответствующих им форм колебаний на абсолютно жестких опорах в диапазоне от 0 % до 150 % от максимальной частоты вращения;

- расчет критических частот вращения и соответствующих им форм колебаний на опорах с расчетной жесткостью в диапазоне от 0 % до 150 % от максимальной частоты вращения. Расчетная жесткость опор определяется по справочным данным расчетным или экспериментальным путем.

Результаты расчетов должны включать:

- графическое изображение форм колебаний ротора (относительные амплитуды колебаний по всей длине ротора);
- диаграмму Кэмпбелла (отражает зависимость критической частоты вращения ротора от частоты вращения ротора).

4.3.29 Максимальная рабочая частота вращения «жесткого вала» должна быть минимум на 20 % меньше первой критической скорости.

Примечание — «Жесткий вал» — вал, первая изгибная частота колебаний которого находится вне диапазона частот вращения от 0 до аварийной.

4.3.30 Если невозможно спроектировать «жесткий вал», то:

- первая критическая частота N_{c1} не должна превышать 0,37 (1/2,7) минимальной рабочей частоты вращения N_{min};
- вторая критическая скорость N_{c2} должна быть не менее чем в 1,2 раза больше максимальной постоянной частоты вращения N_{max}.

Пояснения для случая вала, не являющегося «жестким», приведены на рисунке 1.

4.3.31 В эксплуатационной документации должны быть отражены нежелательные частоты вращения ротора в диапазоне от нуля до аварийной частоты вращения.

Нежелательные скорости вращения — это скорости, совпадающие с критическими скоростями поперечных, крутильных колебаний.



Рисунок 1 — Предельные значения критических частот вращения относительно диапазона рабочих скоростей для случая вала, не являющегося «жестким»

4.3.32 По требованию заказчика могут быть предоставлены чертежи для разработки независимой модели ротора, подшипников и уплотнений. Эти данные должны быть доступны в электронном формате.

Примечание — В этом случае с заказчиком заключается соглашение о неразглашении.

По требованию заказчика могут быть предоставлены отчеты, необходимые для независимой проверки результатов динамического анализа ротора. Необходимость предоставления и форма отчетов должны быть отражены в техническом задании.

4.3.33 Нагрузки на упорный подшипник должны быть не более 50 % от расчетной максимальной несущей способности подшипника. В случае, когда расчетные нагрузки превышают 50 % от несущей способности упорного подшипника, агрегат должен быть оборудован системой автоматической разгрузки, уменьшающей нагрузки на подшипник до приемлемого уровня.

4.3.34 Конструкция подшипников и корпусов должна исключать возможность неправильной установки подшипника.

4.3.35 В случае применения активных электромагнитных подшипников такие подшипники должны соответствовать НД, действующим на территории Российской Федерации или указанным в техническом задании.

4.3.36 Корпуса подшипников после сварки и предварительной обработки должны быть термообработаны для снятия напряжений.

4.3.37 Направляющий аппарат должен быть спроектирован таким образом, чтобы силы трения, возникающие в конструкции, были минимальны.

4.3.38 Утечки через приводное устройство направляющего аппарата должны быть исключены.

4.3.39 При необходимости между холодной частью корпуса и приводом направляющего аппарата должны быть установлены теплоизолирующие вставки, предотвращающие теплопритоки и обмерзание привода.

4.3.40 Привод лопаток направляющего аппарата должен обеспечивать работу во всем диапазоне рабочих параметров, включая максимальное входное давление, во время открытия и закрытия.

4.3.41 Системы уплотнения должны исключить попадание масла в проточные части агрегата во всех режимах работы агрегата, включая стоянку, пуск и остановку.

4.3.42 Агрегат должен быть снабжен системой контроля скорости и вибрации. Общие требования к системам — в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13373-1.

4.3.43 Система контроля скорости также выполняет функцию электронного контура системы защиты от превышения оборотов. Система защиты от превышения оборотов должна состоять:

- из электронного контура (датчик скорости и логическое устройство);
- отсечного клапана на входе в детандерную сторону агрегата.

4.3.44 Электронный контур системы защиты от превышения оборотов должен отвечать следующим минимальным требованиям:

- выход из строя датчика или логического устройства должен инициировать сигнал отключения агрегата;
- все настройки системы должны быть защищены от несанкционированного доступа;
- система должна иметь возможность принимать входные сигналы от генератора частоты для проверки системы;
- должен быть обеспечен выход сигнала для индикатора частоты вращения.

4.3.45 По техническому заданию система защиты от превышения оборотов может быть отделена от системы контроля скорости. В таком случае рекомендуется систему защиты строить по принципу срабатывания двух датчиков из трех. При этом выборка на валу для датчиков защиты может использоваться для датчика контроля скорости.

4.3.46 При использовании в конструкции вала выборки для срабатывания датчиков контроля скорости или системы защиты она должна иметь следующие характеристики:

- минимальная длина составляет полтора диаметра чувствительной части датчика;
- минимальная ширина составляет полтора диаметра чувствительной части датчика;
- минимальная глубина — 1,5 мм;
- радиус скругления кромок — не менее 0,8 мм;
- длина выборки должна учитывать возможные смещения вала во время работы;
- не должна располагаться в зоне установки датчиков контроля вибрации.

4.3.47 Места на поверхности вала, предназначенные для установки датчиков вибрации, должны быть гладкими и свободными от любых отклонений формы (вызванных, например, шпоночными канавками, резьбами, каналами), однородными, с шероховатостью поверхности не более R_a 0,8.

4.3.48 Ширина поверхности под датчиком вибрации должна быть не менее двух диаметров чувствительной части датчика, ось датчика должна проходить через середину поверхности.

4.3.49 Суммарное биение поверхности механической и электрической природы C, мкм, не превышает большего из значений 6 мкм или рассчитывается по формуле

$$C = \frac{25{,}4}{4}\sqrt{\frac{12\,000}{n}}, \quad (1)$$

где n — рабочая частота вращения, об/мин.

4.3.50 Для исключения влияния остаточной намагниченности может применяться металлизация вала другим металлом, например алюминием.

4.3.51 Предпочтительным является установка датчиков контроля вибрации в двух плоскостях контроля около каждого подшипника. Датчики устанавливаются в корпусе копланарно под углом 90°, перпендикулярно оси вращения, с допустимым отклонением ±5°. Рекомендуется установка датчиков под углом 45° к горизонтальной плоскости.

4.4 Требования к материалам

4.4.1 Свойства материалов должны соответствовать условиям размещения агрегата, а также расчетным температурам, достигаемым в процессе эксплуатации.

Медь и сплавы меди нельзя использовать для изготовления тех деталей ТДА или вспомогательного оборудования, которые соприкасаются с коррозионными газами или газами, которые могут образовывать взрывоопасные химические соединения меди.

Материалы, подверженные воздействию внешней среды, должны обладать соответствующей коррозионной стойкостью или иметь соответствующие защитные покрытия.

4.4.2 При использовании крепежных деталей из нержавеющих сталей необходимо подбирать сопрягаемые детали из материалов, исключающих при взаимном контакте задиры и заедания, или такие детали должны быть покрыты составами, предотвращающими заедание и которые совместимы с технологическим газом.

4.4.3 В случае применения шпилек (болтов) и гаек из стали одной марки твердость гаек должна быть выше твердости шпилек (болтов) не менее чем на 15 HB.

4.4.4 Уплотнительные кольца должны соответствовать заданным условиям эксплуатации — температурным воздействиям, составу технологического газа.

4.4.5 Материалы валов должны выбираться с учетом рабочих температур в районе расположения вала.

В случае применения сварного вала сварные швы должны быть подвергнуты 100 %-ному радиографическому или ультразвуковому контролю. После механической обработки места сварки дополнительно контролируются методами магнитной или капиллярной дефектоскопии на соответствие требованиям технической документации организации-изготовителя.

Заготовки валов, изготавливаемых как единая деталь, должны быть подвергнуты 100 %-ному ультразвуковому контролю.

4.4.6 Все применяемые материалы должны иметь сертификаты качества организации-изготовителя в соответствии с требованиями технических регламентов.

4.4.7 Вне зависимости от типа заготовки все материалы заготовок рабочих колес должны пройти входной контроль со 100 %-ным УЗК и определением соответствия нормативным документам, требованиям технической документации организации-изготовителя и оформлением протоколов по фактическим параметрам:

- химического состава;
- механических свойств (твердость по Бринеллю, предел текучести, предел прочности, относительное удлинение);
- микроструктуры и величины зерна.

4.5 Требования к покупным изделиям

4.5.1 Покупные изделия должны быть маркированы единым знаком обращения продукции на рынке государств — членов Евразийского экономического союза в соответствии с ТР ТС (ТР ЕАЭС), действие которых на них распространяется. Требования данного пункта могут не выполняться при поставке агрегатов в страны, не являющиеся членами Евразийского экономического союза.

Покупные изделия или материалы должны поставляться с предоставлением следующих документов:

- сертификат соответствия или декларация о соответствии установленным для данных изделий требованиям ТР ТС (ТР ЕАЭС);
- паспорт;
- техническое описание;
- инструкция по монтажу и безопасной эксплуатации;
- другие документы, необходимые для правильной установки и эксплуатации изделий.

4.5.2 Покупные изделия, поступающие на комплектацию агрегатов, должны проходить входной контроль в соответствии с действующей нормативной документацией.

4.5.3 Условия и сроки хранения покупных изделий — в соответствии с инструкцией предприятия-изготовителя (поставщика), техническими условиями или соответствующими стандартами на покупные изделия. Не допускается использовать покупные изделия, у которых оставшийся срок хранения составляет менее 6 мес.

4.6 Требования к изготовлению

4.6.1 Все доступные к осмотру сварные и паяные поверхности рабочих колес должны быть проверены визуально, магнитно-порошковым или капиллярным методом контроля. Труднодоступные участки проверяются с помощью ультразвукового метода контроля. Литые рабочие колеса подвергаются

100 %-ному рентгенографическому контролю. Контроль качества и испытания изготовленных деталей и узлов проводят в соответствии с требованиями технической документации организации-изготовителя.

Сварка как средство ремонта и балансировки колес не допустима.

Термообработка материалов рабочих колес должна производиться в термопечах при постоянном контроле и записи температур.

4.6.2 Антифрикционная заливка деталей подшипников должна быть без посторонних включений. В местах соприкосновения заливки с основным металлом не должно быть видимых отслоений. После окончательной обработки на поверхности заливки не должно быть пористости, рыхлости, разницы в окрасе.

4.6.3 В случае наличия в требованиях конструкторской документации проводят проверку работоспособности направляющего аппарата в собранном виде в захоложенном состоянии, захолаживание проводят погружением аппарата в жидкий азот до окончания бурного кипения азота.

4.6.4 При наличии требований в конструкторской документации проводят термоциклирование деталей направляющего аппарата путем пятикратного захолаживания деталей в жидком азоте с естественным отогревом, детали термоциклируются перед окончательной обработкой.

4.6.5 Все сверления в корпусах подшипников должны быть проконтролированы на отсутствие заусенцев и стружки. После окончательной механической обработки рекомендуется проведение промывки каналов подвода рабочих сред.

4.6.6 Штуцеры при межоперационной транспортировке должны быть снабжены прикрепленными к ним заглушками.

4.7 Комплектность

4.7.1 Комплектность поставки определяется договором поставки и отражается в техническом задании на конкретный агрегат.

4.7.2 С агрегатом поставляется следующий комплект документации:

- ведомость эксплуатационных документов;
- ведомость документации для монтажа;
- МЧ, включая:
  - габаритные и присоединительные чертежи агрегата;
  - техническую характеристику;
  - требования к потребляемым электро- и энергоресурсам;
  - задание на фундамент (план фундамента, статические и динамические нагрузки, координаты центра масс);
  - допустимые нагрузки на патрубки;
  - чертежи строповки агрегата;
  - чертежи транспортировочной страховки;
  - спецификацию к МЧ;
  - схему пневмогидравлическую принципиальную;
  - перечень элементов к схеме пневмогидравлической принципиальной;
- ведомость ЗИП на период эксплуатации и на период пусконаладочных работ;
- план контроля качества;
- акты заводских испытаний;
- сертификат соответствия/декларация о соответствии требованиям применимого ТР ТС (ТР ЕАЭС);
- обоснование безопасности;
- РЭ агрегата, которое содержит наименование и местонахождение изготовителя, информацию для связи с ним, а также включает:
  - указания мер безопасности;
  - техническое описание;
  - порядок монтажа турбоагрегата;
  - порядок проведения пусконаладочных работ турбоагрегата;
  - порядок эксплуатации турбоагрегата;
  - описание возможных неисправностей и способы их устранения;
  - инструкцию по техническому обслуживанию;
- формуляр и/или паспорт;
- сопроводительную документацию на комплектующие изделия.

4.7.3 Агрегат должен иметь хорошо различимую четкую и нестираемую идентификационную надпись, содержащую:

- наименование изготовителя и (или) его товарный знак;
- наименование и (или) обозначение оборудования (тип, марка, модель);
- заводской номер;
- дату изготовления;
- единый знак обращения продукции на рынке государств — членов Евразийского Таможенного союза.

4.7.4 Способ упаковывания изделий зависит от условий транспортировки, хранения и определяется, при необходимости, в техническом задании.

4.7.5 Тара изготавливается согласно КД.

4.8 Требования безопасности и охраны окружающей среды

4.8.1 Отсечной клапан должен быть нормально закрытым. Время закрытия клапана должно быть не более 2,0 с.

4.8.2 Мощность привода (жесткость возвратной пружины) должна обеспечивать закрытие клапана даже в случае его обмерзания. Конструкция клапана должна предусматривать специальные меры по предотвращению обмерзания и заклинивания клапана.

4.8.3 В случае использования в качестве тормозного устройства компрессорной ступени должна быть предусмотрена система защиты агрегата от «помпажа», система должна обеспечивать защиту агрегата во всех эксплуатационных режимах. В обоснованных случаях допускается не устанавливать такую защиту.

4.8.4 Конструкция ТДА должна быть выполнена с учетом требований ГОСТ 12.2.003, ГОСТ 12.2.016 и ГОСТ 12.2.049.

4.8.5 Должны быть предусмотрены мероприятия, исключающие возможность контакта обслуживающего персонала с вращающимися частями.

4.8.6 Должны быть предусмотрены мероприятия, исключающие возможность контакта обслуживающего персонала с холодными и/или горячими частями агрегата.

4.8.7 Конструкция маслосистемы должна исключать проливы масла на другие части агрегата во время нормальной работы. Возможные проливы при проведении технического обслуживания или аварийной ситуации должны быть локализованы и ликвидированы.

4.8.8 Сбросы утечек рабочего газа с уплотнений и маслосистемы должны быть локализованы, очищены от паров и аэрозолей масла и выведены в атмосферу или другие системы. В случае если сброс является воздухом, допускается сброс направлять в цех. Не допускается эксплуатация ТД с неработающей системой очистки утечек от паров и аэрозолей масла.

5 Правила приемки и требования контроля

5.1 Требования контроля

5.1.1 Все детали и сборочные единицы в процессе производства подвергаются операционному и приемочному контролю на соответствие их конструкторской документации.

5.1.2 Входной контроль материалов и покупных комплектующих изделий проводится в соответствии с ГОСТ 24297.

5.1.3 Приемка агрегата должна быть удостоверена клеймом ОТК завода-изготовителя и оформлена сопроводительной документацией (технологическими паспортами, маршрутными картами, формулярами и т. п.).

5.1.4 Сварные швы частей, подвергающихся воздействию внутреннего избыточного давления или вакуума, должны быть подвергнуты 100 %-ному неразрушающему контролю по технологии организации-изготовителя, на соответствие требованиям технической документации организации-изготовителя.

5.1.5 Дефекты, обнаруженные в процессе контроля, должны быть устранены с последующим контролем исправленных участков на соответствие требованиям технической документации организации-изготовителя.

5.1.6 Исправление подваркой одного и того же места сварных соединений допускается не более трех раз. Одной подваркой дефектного участка является однократное заполнение разделки по сечению шва. Сварку двухсторонней выборки шва считают одной подваркой. Исправленные швы следует по-

вторно контролировать в соответствии с требованиями конструкторской документации на изделие и настоящего стандарта.

5.1.7 Детали и сборочные единицы, подверженные воздействию внутреннего давления или вакуума, должны быть испытаны на прочность и плотность.

5.1.8 Давление испытаний назначается КД в зависимости от способа изготовления испытываемых деталей и сборочных единиц. Требования к испытаниям на прочность и герметичность, установленные в КД, должны быть не ниже требований ГОСТ Р 52630—2012 (подраздел 8.11).

5.2 Механические испытания

5.2.1 Испытания агрегатов проводятся в соответствии с разработанными программами и методиками испытаний. Приемочные испытания совмещаются с приемо-сдаточными (заводскими) испытаниями. Приемочным испытаниям подвергается каждое изделие. Минимальные требования к испытаниям изложены в данном разделе стандарта.

5.2.2 Для агрегатов с масляными подшипниками перед проведением самих испытаний на агрегате должны быть проведены следующие работы:

- проверено соответствие используемого масла требуемому;
- проведены работы по очистке маслосистемы;
- проверена исправность КИП.

5.2.3 Для агрегатов с магнитными подшипниками перед проведением самих испытаний на агрегате должны быть проведены следующие работы:

- подключен охлаждающий газ, проверено соответствие параметров подаваемого газа требуемым (давление, температура, расход);
- проведены проверки по включению и левитации магнитных подшипников;
- проверена работа системы управления подшипниками.

5.2.4 В программе испытаний агрегатов должны быть определены скорости возможных резонансов и указана необходимость продолжительной работы при данных скоростях или быстрого их прохождения.

Агрегат должен проработать как минимум 4 ч на максимальной рабочей скорости.

Агрегат должен быть разогнан до скорости аварийного отключения и проработать как минимум 15 минут на данной скорости.

После разгона проводится проверка аварийного отключения и выбег агрегата.

5.2.5 Механические испытания считаются удовлетворительными, если отсутствуют замечания к работе любой части агрегата и измеренная неотфильтрованная вибрация не превышает допустимых значений во всем диапазоне рабочей скорости.

5.2.6 Для агрегатов с «гибким валом» механические испытания должны подтвердить, что расчетные критические скорости соответствуют реальным. Любые допускаемые затухающие критические скорости должны быть определены и внесены в руководство по эксплуатации.

5.2.7 По требованию заказчика во время испытаний проводится постоянная запись данных вибрации ротора. Данные передаются заказчику.

5.3 Газодинамические испытания

5.3.1 В объем газодинамических испытаний входит определение характеристик детандера и компрессора по разомкнутой схеме включения агрегата, когда компрессор не связан газодинамически с детандером. Это обеспечивает получение характеристик во всем заданном диапазоне регулирования.

5.3.2 При испытании выбираются не менее шести установившихся режимов работы. Изменение режимов проводится регулированием механизма поворота лопаток турбодетандера, а также арматурой испытательного стенда. Режим считается установившимся, если изменение разности температур за пять минут составляет менее двух градусов (разность температур берется на входе и выходе из соответствующей ступени).

5.3.3 При испытании детандерной ступени определению подлежат следующие характеристики:

- зависимость изоэнтропийного КПД — ηsД от коэффициента окружной скорости $\chi\ s$ в виде ηsД = $f(\chi\ s)$.

Примечание — В случае невозможности проведения испытаний при расчетном $\chi\ s$ экспериментальные данные должны быть скорректированы методом экстраполяции;

- расходная характеристика направляющего аппарата Д — зависимость относительной площади горла направляющего аппарата Д от текущего расхода в виде

$$F_{отн} = f\,(m_{тек}). \quad (2)$$

Относительная площадь горла $F_{отн}$ вычисляется по формуле

$$F_{отн} = \frac{F_{тек}}{F_{пр}}, \quad (3)$$

где $F_{тек}$ — текущая площадь горла, м^2;

$F_{пр}$ — площадь горла в проектном режиме, м^2.

5.3.4 Диапазоны регулирования расхода воздуха через детандерную сторону агрегата оцениваются по изменению $F_{отн}$ при повороте лопаток направляющего аппарата из одного крайнего положения в другое:

$$(F_{отн})_{min} < 1 < (F_{отн})_{max}. \quad (4)$$

Диапазон регулирования должен быть не менее заданного. Не менее четырех точек характеристики должны лежать в диапазоне и не менее двух точек должно быть получено за границами диапазона.

5.3.5 При испытании компрессорной ступени определению подлежат следующие характеристики:

- зависимость коэффициентов напора Ψ_z^* и политропического КПД $\eta_{пол}$ от коэффициента расхода φ ($\Psi z = f(\varphi)$, $\eta_{пол} = f(\varphi)$);
- условное число Маха M_{u2}, вычисляемое по формуле

$$M_{u2} = \frac{U_2}{\sqrt{z \cdot k \cdot R \cdot T_н}}, \quad (5)$$

где R — газовая постоянная, Дж/(кг · К);

$T_н$ — температура на входе в ступень, К;

z — коэффициент сжимаемости газа;

U_2 — окружная скорость на периферии рабочего колеса, м/с.

Значение $M_{u2испыт}/M_{u2проек}$ должно находиться в пределах от 0,8 до 1,2.

Примечание — В случае невозможности выполнения данного условия при испытаниях определение Ψ_z^* и $\eta_{пол}$, по согласованию между разработчиком агрегата и заказчиком, проводится на объекте или разработчик предлагает свою методику подтверждения рабочих характеристик компрессорной ступени;

- определение параметров помпажного режима работы компрессора.

При определении параметров помпажной точки необходимо не доводить процесс сжатия до явного помпажа.

Указанные значения должны включать погрешности измерений.

6 Указания по монтажу и эксплуатации, в том числе требования хранения, транспортирования и утилизации

6.1 Перед отправкой агрегат должен быть подготовлен к транспортировке. Подготовка и упаковка должны обеспечить сохранность агрегата при наружном хранении в течение 6 мес от даты отгрузки. Если требуется более длительное время хранения, такие условия оговариваются отдельно в техническом задании.

6.2 В КД должны быть указаны требования по безопасному хранению агрегата на месте монтажа после прибытия оборудования на площадку. В случае отсутствия в техническом задании особых требований к хранению агрегата условия хранения определяют в соответствии с требованиями ГОСТ 15150—69 (раздел 10).

6.3 Подготовка к отгрузке проводится после проведения всех испытаний. Необработанные внешние поверхности агрегата, которые могут подвергнуться коррозии во время транспортирования, хранения и эксплуатации, должны быть покрашены.

6.4 Обработанные поверхности, за исключением деталей из коррозионно-стойких материалов, должны иметь антикоррозионное покрытие.

6.5 Внешние поверхности должны быть очищены от окалины, сварочных брызг и не должны иметь повреждений.

6.6 На каждом открытом фланце должна быть установлена металлическая заглушка толщиной не менее 2 мм с эластичной прокладкой, закрепленная не менее чем четырьмя болтами. Болты должны быть законтрены и опломбированы таким образом, чтобы снятие заглушек было невозможно без разрушения пломб.

6.7 Резьбовые отверстия должны быть защищены металлическими колпаками или резьбовыми заглушками. Применение неметаллических заглушек не допускается.

6.8 Поверхности с разделкой кромок под приварку должны быть защищены заглушками, предотвращающими повреждение кромок.

6.9 Места крепления подъемных механизмов должны быть четко обозначены как на упаковке, так и на самом агрегате. Рекомендуемые схемы строповки должны быть указаны в инструкции по монтажу.

6.10 Роторы, поставляемые в ЗИП, должны быть подготовлены к хранению в условиях отапливаемого помещения на период не менее четырех лет. Части ротора, которые могут подвергнуться коррозии, должны быть покрыты антикоррозионным покрытием. Ротор должен быть упакован в ящик, пригодный как для внутренней, так и экспортной транспортировки. Между ротором и деталями упаковки, в местах раскрепления, должен быть помещен упругий материал толщиной не менее 3 мм. Применение тетрафторэтилена (TFE) или политетрафторэтилена (PTFE) запрещается. Ротор в упаковке не должен опираться на шейки вала под установку подшипника и на поверхности под установку датчика вибрации, данные поверхности должны быть дополнительно защищены упругим материалом толщиной не менее 3 мм.

6.11 Рабочие колеса агрегатов при хранении и транспортировании должны быть обернуты в полиэтиленовую пленку. Запрещается хранение неупакованных рабочих колес агрегатов под люминесцентными лампами.

6.12 Подшипники, поставляемые в ЗИП, должны быть обернуты водостойкой парафинированной тканью или бумагой.

6.13 Поставляемые в ЗИП модули агрегата должны быть законсервированы и подготовлены к хранению в отапливаемых помещениях на срок не менее четырех лет.

6.14 При необходимости вал ротора должен быть застопорен. Стопорный болт должен быть обозначен нержавеющей биркой, прикрепленной нержавеющей проволокой к стопорному болту.

6.15 Снятые на время транспортировки части агрегата должны быть промаркированы для исключения неправильной установки и повторной сборки на месте монтажа.

6.16 Монтаж, эксплуатация и утилизация агрегата ведется в соответствии с РЭ на агрегат, инструкциями, разработанными на основе РЭ, и действующей НД.

6.17 После монтажа подводящих трубопроводов сварные швы должны быть проконтролированы и испытаны на прочность и герметичность. При проведении испытаний запрещается подача испытательной среды в корпусы агрегата.

6.18 После испытаний подводящие трубопроводы должны быть очищены от сварочного грата, пыли и посторонних предметов, промыты и просушены. При выполнении данных операций трубопроводы должны быть отсоединены от агрегата.

6.19 При эксплуатации запрещается работа агрегата при значениях рабочих параметров, выходящих за указанные в эксплуатационной документации пределы.

6.20 Запрещается длительная работа (более 5 секунд) агрегата на критических частотах вращения ±5 %. Режим работы в области критических частот должен быть проходным.

6.21 Техническое обслуживание агрегатов должно быть периодическим согласно эксплуатационной документации.

6.22 Утилизацию узлов и деталей проводят согласно требованиям НД.

7 Гарантии изготовителя

7.1 Изготовитель гарантирует соответствие ТДА требованиям настоящего стандарта при соблюдении условий транспортирования, хранения, монтажа и эксплуатации.

7.2 Объем и длительность гарантийных обязательств поставщика устанавливают в соответствии с договором поставки.

Приложение А
(обязательное)

Допустимые силы, действующие на патрубки

Конструкция корпусных деталей каждого агрегата должна учитывать ограниченные нагрузки со стороны трубопроводов, действующие на различные патрубки корпуса.

Для обеспечения максимальной надежности системы нагрузки должны быть как можно меньшими. Суммарные силы и моменты, действующие на агрегат через любой подсоединяемый трубопровод, не должны превышать

$$F_r + 1{,}09M_r \leq 54{,}1D_e, \tag{А.1}$$

где F_r — результирующая сила, Н, рассчитываемая по формуле

$$F_r = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}, \tag{А.2}$$

M_r — результирующий момент, Н · м, рассчитываемый по формуле

$$M_r = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2}, \tag{А.3}$$

D_e, при диаметре патрубка менее 200 мм, равен эквивалентному диаметру патрубка.

При диаметре патрубков 200 мм и больше D_e, мм, рассчитывается по формуле

$$D_e = \frac{400 + D_{ном}}{3}, \tag{А.4}$$

где $D_{ном}$ — номинальный диаметр патрубка.

Результирующие силы и моменты от всех патрубков, приведенные к центральной оси наибольшего патрубка, не должны превышать

$$F_c + 1{,}64\ M_c \leq 40{,}41\ D_c, \tag{А.5}$$

где F_c — результирующая сила, приведенная к центральной оси наибольшего патрубка, Н;

M_c — результирующий момент, приведенный к центральной оси наибольшего патрубка, Н;

D_c — диаметр отверстия, мм, ($D_{экв}$), площадь которого равна суммарной площади отверстий всех патрубков, если $D_{экв}$ больше 230 мм, то

$$D_c = \frac{460 + D_{экв}}{3}. \tag{А.6}$$

Компоненты данных результирующих сил и моментов не должны превышать:

$F_x = 16{,}1\ D_c$, $M_x = 24{,}6\ D_c$;

$F_y = 40{,}5\ D_c$, $M_y = 12{,}3\ D_c$;

$F_z = 32{,}4\ D_c$, $M_z = 12{,}3\ D_c$,

где F_x — горизонтальная составляющая, параллельная ротору, Н;

F_y — вертикальная составляющая, Н;

F_z — горизонтальная составляющая, перпендикулярная оси ротора, Н;

M_x — составляющая вокруг горизонтальной оси, Н · м;

M_y — составляющая вокруг вертикальной оси, Н · м;

M_z — составляющая вокруг горизонтальной оси, перпендикулярной ротору, Н · м.

Данные ограничения относятся к конструкции агрегата и не относятся к силам и моментам, возникающим в месте соединения трубопроводов, фланцах, крепеже, определяемым действующими правилами и надзорными органами.

Библиография

[1] Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 010/2011 О безопасности машин и оборудования

[2] Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 032/2013 О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением

[3] Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 004/2011 О безопасности низковольтного оборудования

[4] Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 020/2011 Электромагнитная совместимость технических средств

[5] Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»

[6] Приказ Ростехнадзора от 9 декабря 2020 г. № 512 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности процессов получения или применения металлов»

[7] Приказ Ростехнадзора от 7 декабря 2020 г. № 500 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности химически опасных производственных объектов»

[8] Приказ Ростехнадзора от 15 декабря 2020 г. № 533 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств»

[9] Приказ Ростехнадзора от 15 декабря 2020 г. № 536 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением»

УДК 006.3/.8:006.354

ОКС 75.020
23.020

Ключевые слова: криогенная техника, агрегат, агрегат турбодетандерный, турбодетандер

Редактор *Е.Ю. Митрофанова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *М.И. Першина*
Компьютерная верстка *И.А. Налейкиной*

Сдано в набор 28.05.2025. Подписано в печать 18.06.2025. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 2,12.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru