ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО 20816-8— 2023

Вибрация

ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИИ И ОЦЕНКА ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ МАШИН

Часть 8

Поршневые компрессорные установки

(ISO 20816-8:2018, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2024

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Обществом с ограниченной ответственностью «Электронные технологии и метрологические системы» (ООО «ЭТМС») и Закрытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (ЗАО «НИЦ КД») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 183 «Вибрация, удар и контроль технического состояния»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 декабря 2023 г. № 1660-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 20816-8:2018 «Вибрация. Измерения вибрации и оценка вибрационного состояния машин. Часть 8. Поршневые компрессорные установки» (ISO 20816-8:2018 «Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration — Part 8: Reciprocating compressor systems», IDT).

ИСО 20816-8:2018 разработан Техническим комитетом ТК 108 «Вибрация, удар и контроль состояния» подкомитетом ПК 2 «Измерения и оценка вибрации и ударов применительно к машинам, транспортным средствам и сооружениям» Международной организации по стандартизации (ИСО).

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

5 ВЗАМЕН ГОСТ Р ИСО 10816-8—2016

*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

© ISO, 2018
© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2024

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 2
3 Термины и определения 2
4 Измерения вибрации 3
4.1 Общие положения 3
4.2 Средства измерений и измеряемые величины 3
4.3 Точки и направления измерений 4
4.4 Условия измерений 10
4.5 Регистрация результатов измерений 10
5 Критерии оценки вибрационного состояния 10
5.1 Контролируемые параметры 10
5.2 Зоны вибрационного состояния 10
5.3 Границы зон вибрационного состояния 10
Приложение А (обязательное) Требования к представлению информации о проведенных измерениях 14
Приложение В (справочное) Графическое представление границ зон вибрационного состояния, выраженных через среднеквадратичное значение скорости 16
Приложение С (справочное) Измерения вибрации на направляющих крейцкопфа 22
Приложение D (справочное) Связь между параметрами вибрации 24
Приложение Е (обязательное) Соединения ответвлений от трубопровода 26
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам 30
Библиография 31

Введение

Общие требования к контролю вибрационного состояния машин разных видов по измерениям широкополосной вибрации на вращающихся валах и невращающихся частях установлены в [11]. Настоящий стандарт устанавливает специальное руководство по проведению измерений и классификации вибрации для поршневых компрессоров на основе измерений вибрации его корпуса, включая фундамент, демпфер пульсаций и присоединенные трубопроводы. Приведенные числовые значения параметров предназначены, в первую очередь, для классификации компрессоров по создаваемой им вибрации и предотвращения чрезмерных воздействий на вспомогательное оборудование.

Типичными особенностями динамического поведения поршневого компрессора как механической системы являются колебания масс, циклические изменения моментов сил, циклические расширения цилиндра и наличие в нем пульсирующих сил, компенсация пульсаций потока в выходном трубопроводе. Данные особенности обеспечивают наличие переменных нагрузок, действующих на корпус компрессора и вызывающих его вибрацию. Вибрация поршневых компрессоров, как правило, выше, чем динамических, однако поскольку такая повышенная вибрация изначально предусмотрена конструкцией, она остается достаточно стабильной в течение всего срока службы компрессора.

В отношении поршневого компрессора следует иметь в виду, что вибрация, измеренная на его корпусе, дает только самое приближенное представление о вибрационном состоянии элементов внутри компрессора.

Превышение предельных значений параметров вибрации, установленных, исходя из опыта эксплуатации аналогичных компрессорных установок, приводит преимущественно к повреждениям соединенных с корпусом систем (теплообменников, фильтров, насосов) и периферийных устройств (трубопроводов) или контрольно-измерительных приборов (манометров, термометров). Уровни вибрации, при которых начинают появляться повреждения указанных элементов, зависят от конструктивного исполнения этих элементов и способов их крепления к компрессору. Иногда для оценки состояния присоединенных элементов необходимо провести измерения вибрации на самих этих элементах. При большом разнообразии разных устройств, входящих в состав компрессора, некоторые из них могут выходить из строя даже в том случае, если вибрация не будет превышать значений, рекомендуемых настоящим стандартом.

Локальные проблемы с разными элементами компрессора могут быть разрешены посредством специальных локальных измерений (например, чтобы устранить резонансные колебания элементов). Опыт показывает, однако, что в большинстве случаев можно определить параметры, характеризующие вибрационное состояние компрессора, и использовать их в целях контроля. Если полученные значения контролируемых параметров не превысят предельных значений, рекомендуемых настоящим стандартом, то с большим основанием можно говорить, что у элементов компрессора отсутствуют усталостные повреждения, связанные с создаваемой им вибрацией.

Вибрация поршневых компрессоров оказывает негативное воздействие не только на элементы самого компрессора, но также и на фундамент, на котором он установлен. В этом смысле компрессор подобен возбудителю вибрации, поэтому его всегда устанавливают на фундамент через систему (устройства) виброизоляции. Работа системы виброизоляции, а также вибрация от соседнего оборудования могут существенно влиять на вибрацию компрессора.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Вибрация

ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИИ И ОЦЕНКА ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ МАШИН

Часть 8

Поршневые компрессорные установки

Mechanical vibration. Measurement and evaluation of machine vibration.
Part 8. Reciprocating compressor systems

Дата введения — 2025—03—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает руководство по проведению измерений вибрации и классификации вибрационного состояния поршневых компрессорных установок. Контролируемые параметры вибрации определены в первую очередь исходя из задач классификации компрессоров по создаваемой ими вибрации, а также для оценки усталостных повреждений элементов компрессорных установок, таких как фундамент, компрессор, демпфер пульсаций, трубопроводы и вспомогательное оборудование. Вибрацию вала при этом не рассматривают.

Настоящий стандарт распространяется на поршневые компрессоры, устанавливаемые на жесткие фундаменты, с частотами вращения коленчатого вала от 120 до 1800 мин$^{-1}$. Установленные критерии оценки основаны на результатах измерений на корпусе компрессора. Их применяют также, чтобы убедиться, что создаваемая компрессором вибрация не оказывает чрезмерного негативного воздействия на присоединенные устройства, такие как демпфер пульсаций или трубопровод.

Примечание — Руководство, установленное в настоящем стандарте, при необходимости может быть применено к поршневым компрессорам со скоростями за пределом установленного диапазона. Но при этом числовые значения критериев оценки вибрационного состояния могут потребовать пересмотра.

Настоящий стандарт не распространяется на приводные устройства компрессорных установок, вибрационное состояние и классификацию которых следует оценивать по соответствующему стандарту на оценку вибрационного состояния по измерениям широкополосной вибрации или другому нормативному документу.

Установленные настоящим стандартом критерии могут быть только в грубом приближении использованы для оценки состояния внутренних элементов компрессоров, таких как клапаны, поршни и поршневые кольца. Определение состояния этих элементов требует применения методов диагностирования, не рассматриваемых в настоящем стандарте.

Настоящий стандарт распространяется на компрессорные установки следующих видов:

- с вертикальным, горизонтальным, V-, W- и L-образным расположением цилиндров;
- с постоянными и переменными рабочими скоростями;
- с приводами от электродвигателя, двигателя внутреннего сгорания, паровой турбины, с редукторами и без редукторов, с жесткими и эластичными муфтами;
- со смазкой и без смазки цилиндров.

Настоящий стандарт не распространяется на гиперкомпрессоры.

Издание официальное

Настоящий стандарт не предназначен для использования в целях контроля состояния компрессорных установок по параметрам вибрации, общие принципы которого описаны в [5]), а также для измерений и оценки создаваемого акустического шума.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использована нормативная ссылка на следующий стандарт [для датированных ссылок применяют только указанное издание ссылочного стандарта, для недатированных — последнее издание (включая все изменения)]:

ISO 2041, Mechanical vibration, shock and condition monitoring — Vocabulary (Вибрация, удар и контроль состояния. Словарь)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применяют термины и определения по ИСО 2041, а также следующие термины с соответствующими определениями.

ИСО и МЭК ведут терминологические базы данных для использования в стандартизации по следующим адресам:

- платформа онлайн-просмотра ИСО: доступна на gost.e-ecolog.ru ;
- Электропедия МЭК: доступна на gost.e-ecolog.ru .

3.1 **компрессорная установка** (compressor system): Машинный агрегат, в состав которого входят фундамент, компрессор с поршневой системой, демпфер пульсаций и трубопроводы.

3.2 **контролируемый параметр вибрации** (overall vibration value): Одночисловая характеристика, получаемая преобразованием исходного широкополосного сигнала вибрации во временной или частотной области заданным образом.

Примечание — Контролируемый параметр вибрации определяют для измерений в диапазоне частот от 2 до 1000 Гц.

3.3 **частота перехода** (corner frequency): Частота, разделяющие области, в которых критерии установлены на основе постоянных значений контролируемых параметров для разных величин (перемещения и скорости или скорости и ускорения).

Примечание — Частоты перехода от критерия по постоянному перемещению к критерию по постоянной скорости и от критерия по постоянной скорости к критерию по постоянному ускорению равны 10 и 200 Гц соответственно.

3.4 **поставщик** (vendor): Изготовитель или представитель изготовителя, поставляющий компрессорную установку.

3.5 **заказчик** (purchaser): Лицо, заказывающее компрессорную установку и определяющее технические требования к ней.

3.6 **основной трубопровод** (mainline piping): Трубопровод, от которого отходят ответвления малого диаметра.

Примечание 1 — Под основным трубопроводом в настоящем стандарте могут пониматься также стационарные элементы конструкции, а также сосуды под давлением, такие как как демпфер пульсаций или кулер.

Примечание 2 — Определение диаметра основного трубопровода нецилиндрической формы — в соответствии с рисунком Е.1.

3.7 **соединение ответвления** (small bore connection): Тройник для отвода ответвления от основного трубопровода наружного диаметра 63 мм и более или наружного диаметра менее 63 мм, но для которого *отношение диаметров* (3.8) ответвления и основного трубопровода не превышает 12 % .

Примечание 1 — Соединения с отношением наружных диаметров более 36 % в настоящем стандарте не рассматриваются.

Примечание 2 — Область соединения включает в себя участок основного трубопровода, вибрация которого оказывает существенное влияние на вибрацию ответвления.

Примечание 3 — Наружные диаметры ответвлений приведены в таблице Е.1.

3.8 **отношение диаметров (тройника)** (branch ratio): Отношение наружного диаметра ответвления к наружному диаметру основного трубопровода в месте их соединения.

Примечание — Определение диаметра основного трубопровода нецилиндрической формы — в соответствии с рисунком Е.1.

4 Измерения вибрации

4.1 Общие положения

Основной измеряемой величиной является среднеквадратичное значение скорости, в мм/с, в широкой полосе частот.

Если в спектре вибрации ожидаются (наблюдаются) составляющие на частотах ниже частоты перехода 10 Гц, то дополнительно рекомендуется измерять среднеквадратичное значение перемещения, в мм или мкм, в широкой полосе частот.

Если в спектре вибрации ожидаются (наблюдаются) составляющие на частотах выше частоты перехода 200 Гц, то дополнительно рекомендуется измерять среднеквадратичное значение ускорения, $м/с^2$, в широкой полосе частот.

Примечание — Соотношения между величинами перемещения, скорости и ускорения приведены в разделе В.1.

На рисунках В.1—В.10 в обобщенном виде приведены критерии приемки, основанные на измерениях скорости вибрации согласно [11]. Как видно из рисунков, ниже частоты перехода 10 Гц и выше частоты перехода 200 Гц предельное значение скорости зависит от частоты.

Допустимые значения контролируемого параметра вибрации приведены в 5.3.

Если значение какого-либо контролируемого параметра вибрации превысит границу между зонами В и С (см. 5.2), то следует исследовать спектр вибрации для определения причин такого превышения и принятия необходимых мер.

Измерения ускорения вибрации часто проводят при контроле состояния двигателей внутреннего сгорания. Однако руководство, установленное настоящим стандартом, не предназначено для целей контроля состояния компрессора в целом или его частей (например, клапанов). При необходимости такого контроля следует использовать другие нормативные документы. Предельные значения среднеквадратичного значения ускорения в широкой полосе частот установлены настоящим стандартом только исходя из критерия механической целости компрессорной установки и присоединенного оборудования (например, датчиков давления и температуры или клапанных механизмов). Превышение предельных значений, установленных настоящим стандартом для параметра ускорения, не обязательно влечет за собой необходимость принятия корректирующих мер. Целесообразность таких мер обычно выявляют на основе анализа таких факторов, как чувствительность отдельных элементов установки к высоким ускорениям, наличие слышимого шума или звуковых импульсов, необычное или резкое изменение вибрации.

Кроме того, следует иметь в виду, что значения параметров ускорения в точках измерений, показанных на рисунках 1—5, характеризуют вибрацию частей компрессорной установки (фундамента, картера, цилиндра, демпфера пульсаций и трубопроводов), но не присоединенного к этим частям оборудования.

4.2 Средства измерений и измеряемые величины

Критерии, используемые для классификации поршневых компрессорных установок по производимой ими вибрации, приведены в разделе 5. Известно, что основная вибрация таких установок, как правило, сосредоточена в диапазоне от 2 до 300 Гц. Однако необходимость принимать во внимание вспомогательное оборудование, составляющее неотъемлемую часть установки, приводит к повышению верхней границы диапазона измерений до 1000 Гц. В целях настоящего стандарта в качестве контролируемых параметров вибрации использованы среднеквадратичные значения перемещения, скорости и ускорения в диапазоне частот от 2 до 1000 Гц. В особых случаях поставщиком и заказчиком может быть согласован другой диапазон измерений.

Поскольку обычно широкополосная вибрация компрессорных установок содержит большое число частотных составляющих, не существует простых математических соотношений между такими параме-

трами, как среднеквадратичное значение и пиковое значение для перемещения, скорости и ускорения (см. приложение D).

Применяемая измерительная система должна обеспечить точность измерений среднеквадратичных значений перемещения, скорости и ускорения в пределах ± 10 % в диапазоне от 10 до 1000 Гц и в пределах от плюс 10 % до минус 20 % в диапазоне от 2 до 10 Гц. Все три измеряемые величины (перемещение, скорость и ускорение) могут быть определены с помощью единственного преобразователя вибрации, в качестве которого предпочтительно использовать акселерометр. Тогда скорость и перемещение могут быть получены соответственно интегрированием и двойным интегрированием выходного сигнала акселерометра. Требования к средствам измерений, используемых в целях контроля вибрационного состояния машин, установлены в [1]. Руководства по применению методов обработки (усреднения, использования оконных функций) и представления сигналов во временной и частотной областях приведены в [6] и [9]. Общие примеры приведены в [10].

Вибрационное состояние ответвлений от основного трубопровода оценивают по скорости вибрации на ответвлении относительно места его соединения с трубопроводом (см. приложение E), поскольку эта характеристика в наибольшей степени отражает возникающие циклические механические напряжения в соединении. Для учета фазовых соотношений разностный сигнал получают вычитанием временных реализаций, полученных в двух точках измерений (см. E.2.1).

Следует убедиться в том, что применяемые методы обработки не ухудшают точность измерений более установленных предельных значений. Существенное влияние на частотную характеристику измерительной системы и получаемые значения измеряемых величин оказывает метод установки преобразователей. Особенно важно обеспечить надежную механическую связь между компрессором и преобразователем в случае значительной высокочастотной вибрации. Руководство по креплению акселерометров установлено в [2].

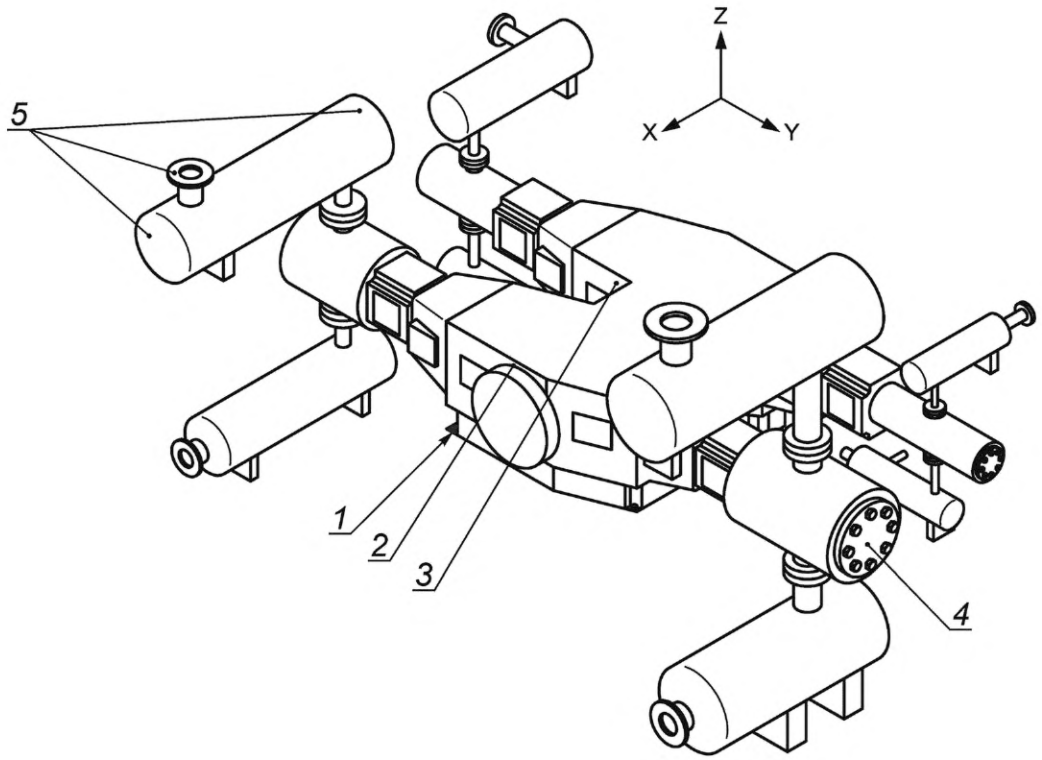
Примечание — Установленные предельные значения вибрации не применимы, если мода колебаний оболочки демпфера пульсаций имеет существенно вытянутую форму, а также в случае трубопроводов большого диаметра.

4.3 Точки и направления измерений

4.3.1 Точки измерений

Точки измерений подлежат согласованию с заказчиком. Рекомендуемый минимальный набор точек измерений вибрации показан на рисунках 1—5 и включает в себя:

- все места болтового крепления на фундаменте (точка 1);
- каждый угол на верхней поверхности корпуса компрессора (точка 2);
- точку между цилиндрами на корпусе компрессора, если число цилиндров в ряду два и более (точка 3);

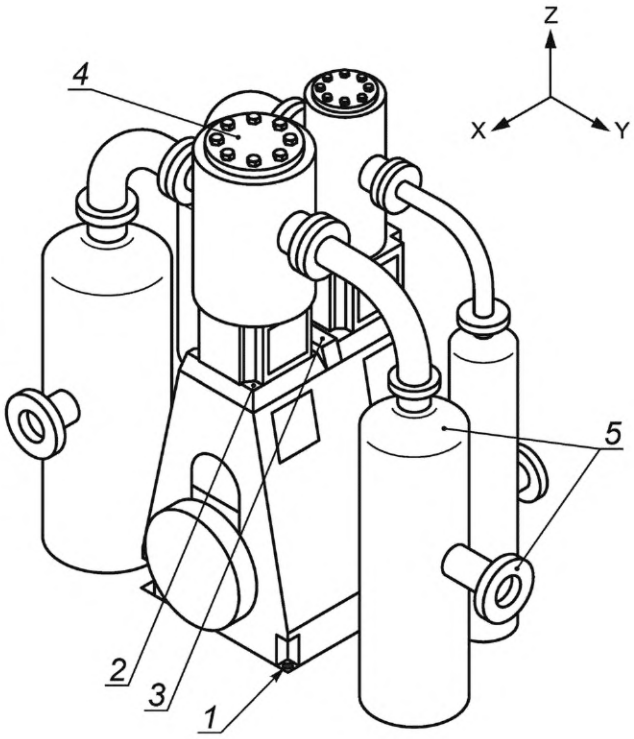


1 — болтовое крепление; *2* — угол корпуса; *3* — точка между цилиндрами; *4* — фланец цилиндра; *5* — демпфер пульсаций

Примечание — Указанные точки используют для всех компрессоров с горизонтальным расположением цилиндров (для упрощения рисунка на нем показано только по одной точке каждого вида). Дополнительно с поставщиком должна быть согласована точка измерений на трубопроводе (на рисунке не показана). Направление измерений в каждой точке — согласно 4.3.2.

Рисунок 1 — Точки измерений на компрессоре с горизонтальным расположением цилиндров

- каждый цилиндр (на фланце-крышке в местах с максимальной жесткостью) (точка 4);
- каждое устройство (сосуд) для выравнивания пульсаций давления (на входном и выходном фланцах, а также на крышке устройства) (точка 5);
- все критические точки трубопровода (определяют по результатам инспекции и согласовывают с заказчиком);
- ответвления от основного трубопровода (см. рисунок Е.2).

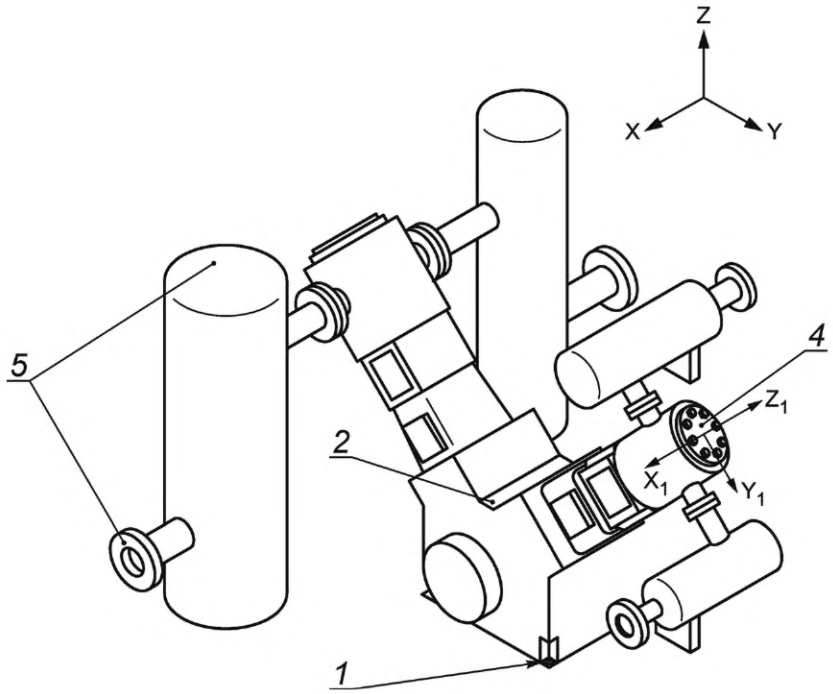


1 — болтовое крепление; *2* — угол корпуса; *3* — точка между цилиндрами; *4* — фланец цилиндра; *5* — демпфер пульсаций

Примечание — Указанные точки используют для всех компрессоров с вертикальным расположением цилиндров (для упрощения рисунка на нем показано только по одной точке каждого вида). Дополнительно с поставщиком должна быть согласована точка измерений на трубопроводе (на рисунке не показана). Направление измерений в каждой точке — согласно 4.3.2.

Рисунок 2 — Точки измерений на компрессоре с вертикальным расположением цилиндров

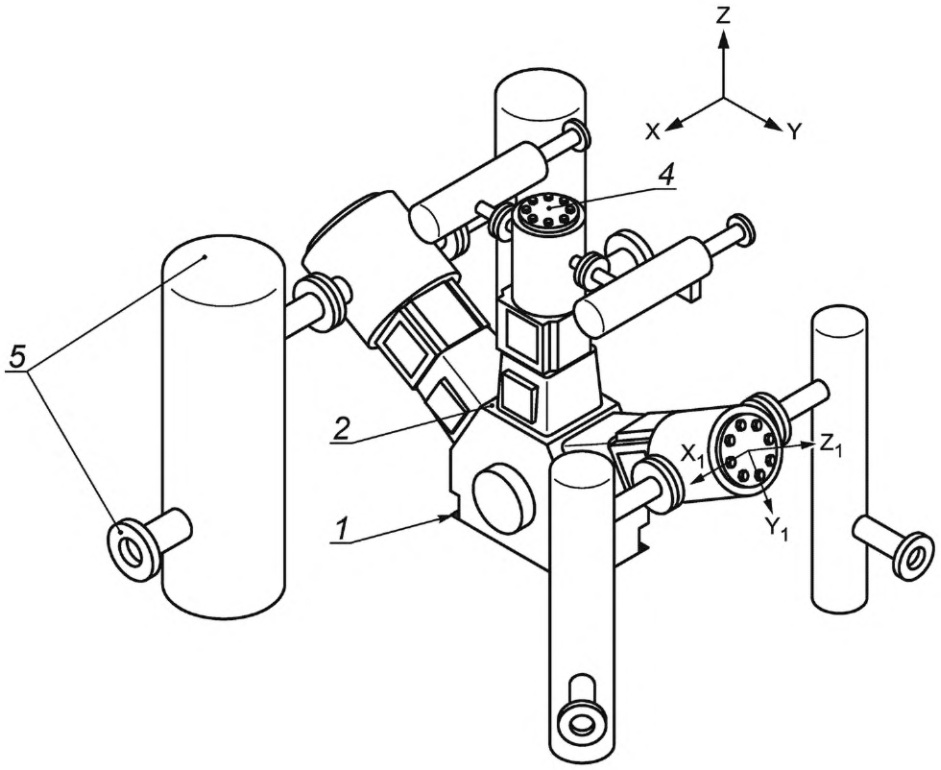
Примечание — В системах контроля состояния часто используют крепление акселерометра на направляющей крейцкопфа. Вибрацию измеряют в направлении силы, с которой крейцкопф действует на направляющую; для горизонтальных компрессоров это вертикальное направление. Опыт показывает, что в случае горизонтальных компрессоров измерения на направляющей крейцкопфа являются полезным дополнением к измерениям в других точках, чтобы судить об угрозе целости установки. Метод измерения вибрации на направляющей крейцкопфа приведен в приложении С.



1 — болтовое крепление; *2* — угол корпуса; *3* — точка между цилиндрами (используется, если число цилиндров более двух, поэтому на данном рисунке не показана — см. рисунки 1 и 2); *4* — фланец цилиндра; *5* — демпфер пульсаций

Примечание — Указанные точки используют для всех компрессоров с V-образным расположением цилиндров (для упрощения рисунка на нем показано только по одной точке каждого вида). Дополнительно с поставщиком должна быть согласована точка измерений на трубопроводе (на рисунке не показана). Направление измерений в каждой точке — согласно 4.3.2.

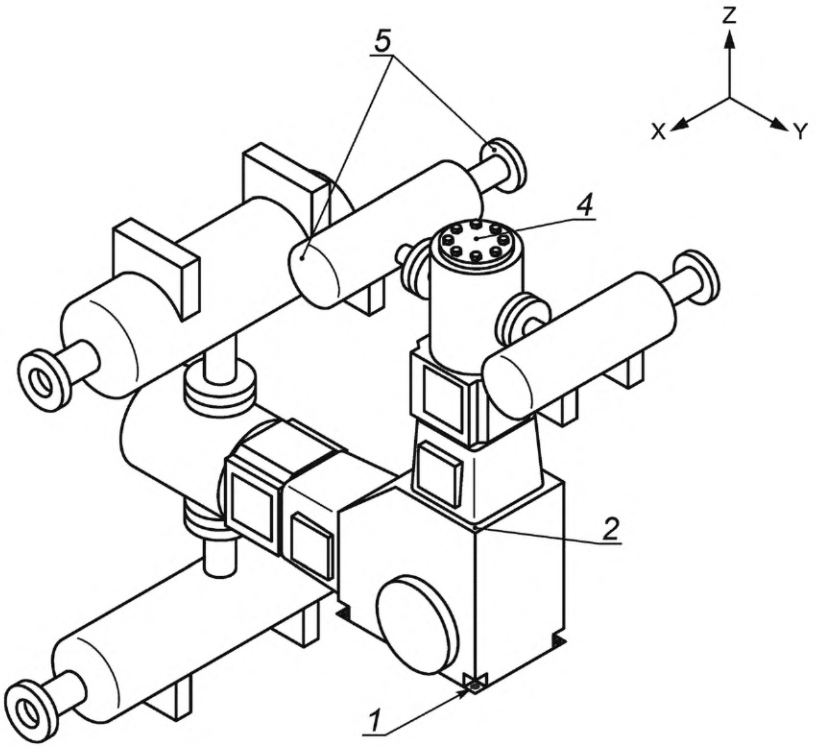
Рисунок 3 — Точки измерений на компрессоре с V-образным расположением цилиндров



1 — болтовое крепление; *2* — угол корпуса; *3* — точка между цилиндрами (используется, если число цилиндров более трех, поэтому на данном рисунке не показана — см. рисунки 1 и 2); *4* — фланец цилиндра; *5* — демпфер пульсаций

Примечание — Указанные точки используют для всех компрессоров с W-образным расположением цилиндров (для упрощения рисунка на нем показано только по одной точке каждого вида). Дополнительно с поставщиком должна быть согласована точка измерений на трубопроводе (на рисунке не показана). Направление измерений в каждой точке — согласно 4.3.2.

Рисунок 4 — Точки измерений на компрессоре с W-образным расположением цилиндров



1 — болтовое крепление; *2* — угол корпуса; *3* — точка между цилиндрами (используется, если число цилиндров более двух, поэтому на данном рисунке не показана — см. рисунки 1 и 2); *4* — фланец цилиндра; *5* — демпфер пульсаций

Примечание — Указанные точки используют для всех компрессоров с L-образным расположением цилиндров (для упрощения рисунка на нем показано только по одной точке каждого вида). Дополнительно с поставщиком должна быть согласована точка измерений на трубопроводе (на рисунке не показана). Направление измерений в каждой точке — согласно 4.3.2.

Рисунок 5 — Точки измерений на компрессоре с L-образным расположением цилиндров

4.3.2 Направления измерений

Измерения проводят в заданных точках в следующих направлениях:

a) компрессор с горизонтальным расположением цилиндров:

- в каждой точке измерений в трех взаимно перпендикулярных направлениях X, Y и Z, как показано на рисунке 1;

b) компрессор с вертикальным расположением цилиндров:

- в каждой точке измерений в трех взаимно перпендикулярных направлениях X, Y и Z, как показано на рисунке 2;

c) компрессор с V-образным расположением цилиндров:

- в каждой точке измерений на фундаменте, корпусе, демпфере пульсаций и трубопроводе в трех взаимно перпендикулярных направлениях X, Y и Z, как показано на рисунке 3,

- на каждом цилиндре в трех взаимно перпендикулярных направлениях X1 (перпендикулярно штоку поршня), Y1 (перпендикулярно штоку поршня) и Z1 (параллельно штоку поршня), как показано на рисунке 3;

d) компрессор с W-образным расположением цилиндров:

- в каждой точке измерений на фундаменте, корпусе, демпфере пульсаций и трубопроводе в трех взаимно перпендикулярных направлениях X, Y и Z, как показано на рисунке 4,

- на каждом цилиндре в трех взаимно перпендикулярных направлениях X1 (перпендикулярно штоку поршня), Y1 (перпендикулярно штоку поршня) и Z1 (параллельно штоку поршня), как показано на рисунке 4;

e) компрессор с L-образным расположением цилиндров:

- в каждой точке измерений в трех взаимно перпендикулярных направлениях X, Y и Z, как показано на рисунке 5.

4.4 Условия измерений

Измерения проводят при достижении компрессорной установкой установившегося режима работы с заданной рабочей температурой. Контролируемый параметр вибрации для каждой величины (перемещения, скорости или ускорения) определяют как максимальное среднеквадратичное значение этой величины в диапазоне частот измерений для разных рабочих скоростей, рабочих условий (дифференциального давления, температуры), перекачиваемых газов (например, азота при пуске компрессора), ненагруженных состояний и при разном числе параллельно работающих компрессоров.

Конструкция, на которой установлен компрессор (бетонное основание или металлическая платформа), не должна иметь выраженных резонансов в диапазоне частот вибрации, создаваемой компрессорной установкой.

4.5 Регистрация результатов измерений

Регистрация результатов измерений должна сопровождаться записями всех важных сведений, определяющих условия работы компрессорной установки, а также информацией о применяемых средствах измерений (см. приложение А).

5 Критерии оценки вибрационного состояния

5.1 Контролируемые параметры

Критерии оценки вибрационного состояния установлены для среднеквадратичных значений широкополосной вибрации, выраженной в единицах перемещения, скорости и ускорения.

5.2 Зоны вибрационного состояния

5.2.1 Общие положения

Для количественного описания вибрации, создаваемой компрессорной установкой, и выдачи рекомендаций по возможным действиям вводят понятие зон вибрационного состояния для контролируемых параметров вибрации. Числовые значения границ зон не предназначены для использования в качестве технических условий при приемочных испытаниях, но вместе с тем эти границы могут быть использованы в качестве руководства с тем, чтобы избежать чрезмерно завышенных и нереалистичных требований к вибрации установки. В ряде случаев для компрессоров некоторых типов могут быть отмечены особенности, требующие изменения значений границ зон (в большую или меньшую сторону), что является предметом соглашения между заказчиком и поставщиком. При этом обычно необходимо объяснить причину данных изменений и, в частности, подтвердить, что установка не будет подвергаться опасности при работе с вибрацией повышенного уровня.

Вводится следующая классификация зон вибрационного состояния.

Зоны A и B: Компрессорные установки, вибрация которых попадает в эти зоны, обычно считают пригодными для дальнейшей эксплуатации без ограничения сроков.

Зона C: Компрессорные установки, вибрация которых попадает в эту зону, обычно рассматривают как непригодные для длительной непрерывной работы. Обычно такие установки могут функционировать ограниченный период времени, пока не появится подходящая возможность для проведения ремонтных работ. Следует провести анализ состояния установки, который бы позволил поставщику и заказчику прийти к соглашению о возможности ее длительной безопасной эксплуатации.

Зона D: Уровни вибрации в данной зоне обычно рассматривают как достаточно серьезные, для того чтобы вызвать повреждение компрессора и присоединенного оборудования.

Описание зон состояния для поршневых компрессорных установок приведено в таблице 1.

5.2.2 Критерии приемки

Критерии приемки по показателям вибрации должны быть предметом соглашения между поставщиком и заказчиком. Таблица 1 может быть использована в качестве руководства для определения критериев приемки как для нового оборудования, так и для оборудования, поступающего после ремонта.

5.3 Границы зон вибрационного состояния

5.3.1 Границы зон в единицах перемещения, скорости и ускорения

Числовые значения границ зон вибрационного состояния, определенных через контролируемые параметры вибрации для перемещения, скорости и ускорения, для компрессоров с горизонтальным

и вертикальным расположением цилиндров приведены в таблицах 2—4 и графически изображены в приложении В.

Если не установлено иное, то для компрессоров с V-образным и W-образным расположением цилиндров применяют те же значения, что и для вертикальных компрессоров. В случае L-образного расположения цилиндров для вибрации цилиндров используют значения, установленные для цилиндров вертикального или горизонтального компрессоров, в зависимости от направления хода штока поршня.

5.3.2 Влияние способа установки и фундамента

Значения контролируемых параметров вибрации, приведенные в таблицах 2—4, применяют в случае, когда компрессорная установка, включая компрессор и приводной механизм, закреплены на жестком бетонном фундаменте. В случае установки на металлическую платформу, эта платформа сама должна обладать достаточной жесткостью и, кроме того, быть жестко установлена на бетонном фундаменте. Опорные конструкции (бетонный фундамент и платформа) не должны совершать резонансных колебаний. Данные таблиц 2—4 неприменимы, когда опорная конструкция установлена через систему виброизоляции (например, пружины). В этом случае границы зон вибрационного состояния должны быть согласованы между поставщиком и заказчиком.

Таблица 1 — Зоны вибрационного состояния

Зона	Диапазон	Вибрационное состояние	Описание (см. также примечания)
A	Ниже границы A/B	Приемлемое	Компрессорные установки, вибрация которых попадает в эти зоны, обычно считают пригодными для дальнейшей эксплуатации без ограничения сроков
B	От границы A/B до границы B/C		
C	От границы B/C до границы C/D	Пограничное	Необходим анализ и возможные корректирующие действия. Поставщику и заказчику следует решить, пригоден ли компрессор для длительной безопасной эксплуатации
D	Выше границы C/D	Неприемлемое	Как правило, необходимы срочные корректирующие действия или незамедлительный останов (см. примечание 3)

Примечание 1 — Числовые значения границ зон не применяют для испытаний на стенде, поскольку условия этих испытаний существенно отличаются от условий на месте применения за счет разницы в жесткости фундамента, способах крепления, нагрузки, потоке и состоянии газа, резонансах, работе элементов установки и пр. Исходя из опыта изготовителя, для испытаний на стенде могут быть предложены другие значения границ, которые следует согласовать с заказчиком.

Примечание 2 — Зона B введена, чтобы определить границы A/B и B/C, которые могут использоваться в справочных целях. Испытания, проведенные в основном для низкоскоростных машин с постоянными рабочими условиями, показывают, что для большинства машин значения контролируемого параметра вибрации сосредоточены вблизи границы A/B.

Примечание 3 — Если среднеквадратичное значение скорости в точке на главном трубопроводе находится в зоне D, то это не обязательно означает быстрое накопление усталостных повреждений в этом трубопроводе. Такие повреждения чаще будут иметь место в ответвлениях малого диаметра (например, конденсатоотводчике) или в присоединенном к главному трубопроводу оборудовании (например, датчиках давления и температуры). Вследствие этого не рекомендуется рассматривать возможность немедленного останова машины, если выполнены следующие условия:

- максимальное среднеквадратичное значение скорости на трубопроводе не превышает 45 мм/с;
- от главного трубопровода не отходят ответвления малых диаметров и к нему не присоединено вспомогательное оборудование, для которых наблюдают большие значения скорости;
- среднеквадратичное значение перемещения для вибрации трубопровода находится ниже границы C/D;
- анализ, выполненный каким-либо аналитическим методом, методом конечных элементов или с использованием прямых измерений механических напряжений для сечения трубопровода показывает, что его усталостные повреждения маловероятны;
- поставщик и заказчик пришли к соглашению о возможной долговременной эксплуатации установки при повышенной вибрации;
- исключена возможность того, что данная повышенная вибрация обусловлена возбуждением механических резонансов частей установки.

Окончание таблицы 1

Примечание 4 — Если относительная скорость вибрации ответвления трубопровода находится в зоне D, то это не обязательно означает быстрое накопление усталостных повреждений в соединении ответвления. На механические напряжения в соединениях ответвлений влияют такие факторы как геометрия и тип соединения, технология и качество сварки и т. п. Вследствие этого не рекомендуется рассматривать возможность немедленного останова машины, если циклические напряжения в соединении не превышают предела усталости. Чтобы проверить это, выполняют следующие действия:

- измеряют циклические напряжения в критических точках (обычно в области сварки) и сопоставляют их с предельными значениями для сварных соединений или измеряют размах скорости для вибрации ответвления относительно основного трубопровода;
- принимают во внимание геометрические размеры соединения ответвления с основным трубопроводом, включая их диаметры, длину соединения, толщину стенок;
- проводят анализ усталостных характеристик по относительным перемещениям известными аналитическими методами или расчетом методом конечных элементов и проверяют, не превысило ли максимальное циклическое напряжение предел усталости.

Таблица 2 — Границы зон вибрационного состояния для элементов компрессорной установки, определенные через среднеквадратичное значение перемещения, мм

Элемент установки	Границы зон вибрационного состояния, определенные через среднеквадратичное значение перемещения, мм					
	для горизонтального компрессора			для вертикального компрессора		
	A/B	B/C	C/D	A/B	B/C	C/D
Фундамент	0,032	0,048	0,072	0,032	0,048	0,072
Корпус (верхняя поверхность)	0,084	0,127	0,191	0,084	0,127	0,191
Цилиндр (поперек хода штока поршня)	0,139	0,207	0,310	0,170	0,255	0,382
Цилиндр (вдоль хода штока поршня)	0,170	0,255	0,382	0,139	0,207	0,310
Демпфер пульсаций	0,202	0,302	0,454	0,202	0,302	0,454
Основной трубопровод	0,202	0,302	0,454	0,202	0,302	0,454
Ответвление от трубопровода	См. таблицу E.2					

Таблица 3 — Границы зон вибрационного состояния для элементов компрессорной установки, определенные через среднеквадратичное значение скорости, мм/с

Элемент установки	Границы зон вибрационного состояния, определенные через среднеквадратичное значение скорости, мм/с					
	для горизонтального компрессора			для вертикального компрессора		
	A/B	B/C	C/D	A/B	B/C	C/D
Фундамент	2,0	3,0	4,5	2,0	3,0	4,5
Корпус (верхняя поверхность)	5,3	8,0	12,0	5,3	8,0	12,0
Цилиндр (поперек хода штока поршня)	8,7	13,0	19,5	10,7	16,0	24,0
Цилиндр (вдоль хода штока поршня)	10,7	16,0	24,0	8,7	13,0	19,5
Демпфер пульсаций	12,7	19,0	28,5	12,7	19,0	28,5
Трубопровод	12,7	19,0	28,5	12,7	19,0	28,5
Ответвление от трубопровода	См. таблицу E.3					
Примечание — В отношении вибрации, превышающей границу C/D, — см. примечание 3 в таблице 1.						

Таблица 4 — Границы зон вибрационного состояния для элементов компрессорной установки, определенные через среднеквадратичное значение ускорения, м/с^2

Элемент установки	Границы зон вибрационного состояния, определенные через среднеквадратичное значение ускорения, м/с^2					
	для горизонтального компрессора			для вертикального компрессора		
	A/B	B/C	C/D	A/B	B/C	C/D
Фундамент	2,5	3,8	5,7	2,5	3,8	5,7
Корпус (верхняя поверхность)	6,7	10,1	15,1	6,7	10,1	15,1
Цилиндр (поперек хода штока поршня)	10,9	16,3	24,5	13,5	20,1	30,2
Цилиндр (вдоль хода штока поршня)	13,5	20,1	30,2	10,9	16,3	24,5
Демпфер пульсаций	16,0	23,9	35,8	16,0	23,9	35,8
Трубопровод	16,0	23,9	35,8	16,0	23,9	35,8
Ответвление от трубопровода	См. таблицу Е.4					

5.3.3 Вибрация горизонтальных компрессорных установок

Силы, действующие при расширении газа в цилиндре, вызывают вибрацию в направлении хода штока поршня, которая в общем случае выше, чем в поперечном направлении. Эта вибрация, в свою очередь, вызывает механические напряжения растяжения и сжатия, которые, как правило, менее опасны, чем изгибные напряжения, связанные с поперечной вибрацией цилиндров. По этой причине в направлении хода штока поршня допустима вибрация более высокого уровня.

5.3.4 Вибрация вертикальных компрессорных установок

Для вертикальных компрессоров допустимы более высокие уровни вибрации в поперечном направлении, чем в направлении хода штока поршня. Это связано с тем, что такие установки обладают меньшей жесткостью в поперечном направлении, чем установки с горизонтальным расположением цилиндров.

Приложение А
(обязательное)

Требования к представлению информации о проведенных измерениях

А.1 Сведения о компрессорной установке

Как правило, приводят следующие сведения об обследуемом оборудовании:

Вид информации	Примеры
Уникальный идентификатор компрессора:	Заводской номер
Тип компрессора:	Газовый/другой
Число цилиндров:	
Конфигурация:	Горизонтальный/вертикальный/V-образный/ L-образный/W-образный
Номинальная скорость, мин$^{-1}$:	
Способ управления вращением:	С постоянной скоростью/с переменной скоростью
Диапазон скоростей, мин$^{-1}$ (для компрессоров с переменной скоростью):	
Номинальная мощность, кВт:	
Опора компрессора:	Жесткий фундамент/упругое крепление
Способ сцепления валов:	Жесткая муфта/гибкая муфта
Способ управления потоком:	Разгрузочный клапан/обводная система/мертвое пространство/другой
Тип привода:	Электродвигатель/двигатель внутреннего сгорания

А.2 Сведения о проведенных измерениях

Приводят следующие сведения о проведенных измерениях и измерительной системе:

Вид информации	Примеры
Дата и время измерений:	
Описание средства измерений:	
Точки измерений:	Чертеж (предпочтительно), описание или условное обозначение
Единицы измерений:	мм/с, мм, мкм, м/с^2
Измеряемый параметр:	Среднеквадратичное значение (r.m.s.)
Вид и представление измерений:	В широкой полосе частот/спектр/временной сигнал
Тип преобразователя:	Акселерометр/вихретоковый датчик
Способ крепления преобразователя:	Ручной щуп/магнит/шпилька/клей
Средства обработки сигнала:	Фильтр (с указанием частот среза), число каналов, способ усреднения, тип окна
Калибровка:	Дата и место последней калибровки

Также указывают данные об условиях работы установки, важные для правильной интерпретации результатов измерений:

Вид информации	Примеры
Скорость во время измерений, мин$^{-1}$:	
Мощность во время измерений:	
Работа компрессора в системе:	Одиночный компрессор/работающий параллельно с другими компрессорами
Условия нагрузки на компрессор:	Процент нагрузки/шаг изменения нагрузки
Способ разгрузки:	Плавное или ступенчатое изменение положения клапана, фиксированное или переменное мертвое пространство
Рабочие параметры:	Давление, температура, состав перекачиваемого газа

А.3 Другие сведения

В дополнение к сведениям, указанным в А.1 и А.2, может быть приведена информация, например об истории технического обслуживания установки. Ниже приведен пример формы для записи информации об измерениях.

Общие сведения	
Протокол №:	Место установки:
Дата:	Измерения провел:
Компрессорное оборудование	
Заводской номер:	Тип/номер серии:
Тип компрессора: газовый/другой [a]	Тип привода: [a]
Число цилиндров: 1/2/3/4/5/6/8/12/другое [a]	Сцепление: жесткое/гибкое [a]
Конфигурация: горизонтальная/другая [a]	Нагрузка при измерениях:
Номинальная скорость, мин$^{-1}$:	Номинальная мощность, кВт:
Скорость при измерениях, мин$^{-1}$:	Мощность при измерениях, кВт:
Способ установки:	
жесткий фундамент/податливое основание [a]	
непосредственно/через платформу [a]	
Поставщик:	
Измерительная система	
Изготовитель:	Модель:
Единицы измерений:	Метод обработки сигнала: БПФ/другой [a]
Измеряемый параметр:	
Тип и изготовитель преобразователя:	Крепление преобразователя:
Схема	
Изображение компрессорной установки и точек измерений:	
Записи измерений, показания, диаграммы и т. п. с указанием точек и направлений измерений и условий работы установки во время измерений:	

[a] Ненужное зачеркнуть, необходимое добавить.

Приложение В
(справочное)

Графическое представление границ зон вибрационного состояния, выраженных через среднеквадратичное значение скорости

В.1 Общие положения

В настоящем приложении значения, приведенные в таблицах 2—4, представлены в графическом виде для величины скорости. Границы зон построены, исходя из критериев постоянного перемещения в диапазоне частот от 2 до 10 Гц, постоянной скорости в диапазоне от 10 до 200 Гц и постоянного ускорения в диапазоне частот от 200 до 1000 Гц. Частоты 10 и 200 Гц являются частотами перехода.

Примечание — Более подробная информация о виде границ зон для среднеквадратичного значения скорости приведены в [11].

Для гармонического сигнала соотношение между перемещением x, скоростью v и ускорением a имеет вид:

$$x = \int v\,dt = \iint (a\,dt)\,dt = -\frac{i}{\omega} v = -\frac{1}{\omega^2} a, \tag{В.1}$$

$$v = \frac{dx}{dt} = \int a\,dt = i\omega x = -\frac{i}{\omega} a, \tag{В.2}$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 x = i\omega v, \tag{В.3}$$

где i — мнимая единица, $i = \sqrt{-1}$;

t — время;

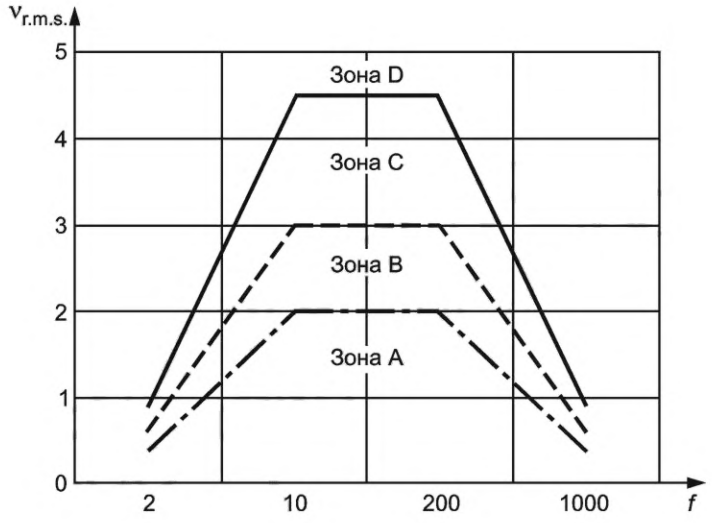
ω — угловая частота, $\omega = 2\pi f$;

f — частота.

Формулы (В.1)—(В.3) могут быть использованы, например, при необходимости преобразовать перемещение и ускорение гармонического сигнала в скорость на частотах перехода 10 и 200 Гц.

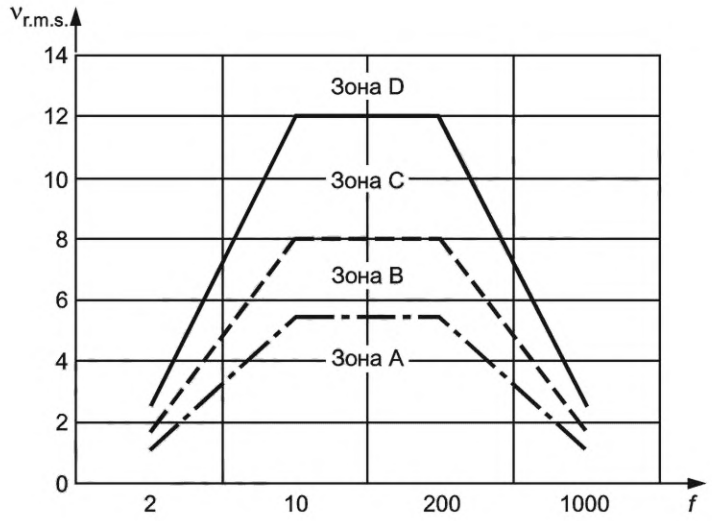
В.2 Графическое представление границ зон

Кривые границ зон вибрационного состояния для разных элементов поршневых компрессорных установок и разных конфигураций компрессоров, построенные на основе контролируемого параметра для скорости вибрации, показаны на рисунках В.1—В.10.



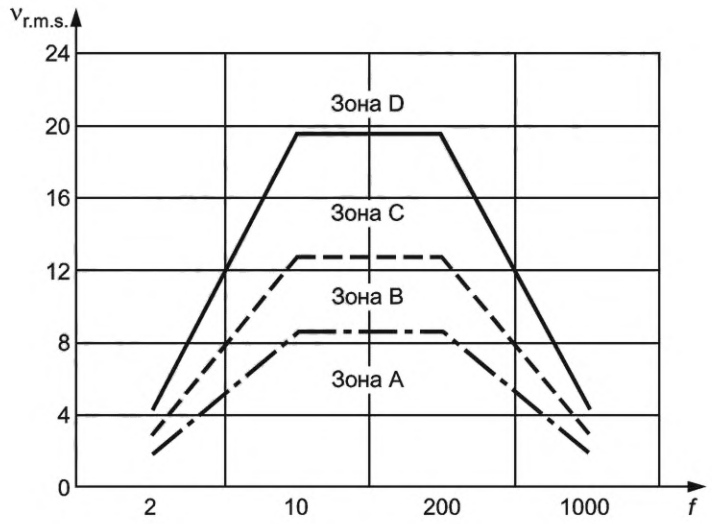
$v_{r.m.s.}$ — среднеквадратичное значение скорости, мм/с; f — частота, Гц

Рисунок В.1 — Границы зон для вибрации фундамента компрессора с горизонтальным расположением цилиндров



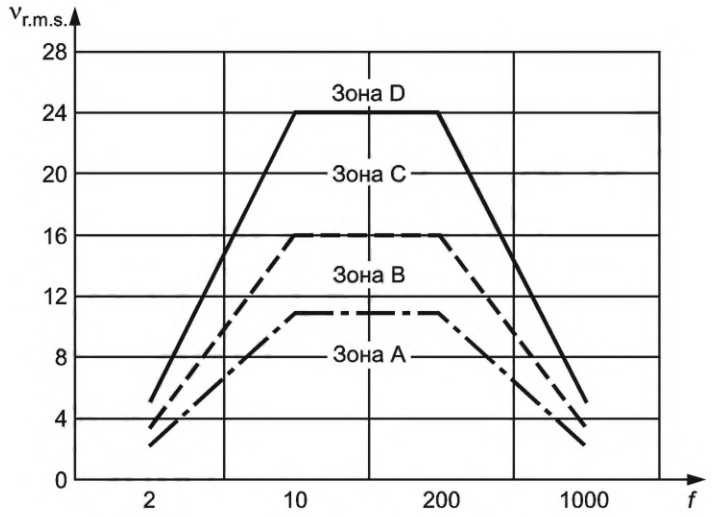
$v_{r.m.s.}$ — среднеквадратичное значение скорости, мм/с; f — частота, Гц

Рисунок В.2 — Границы зон для вибрации корпуса компрессора с горизонтальным расположением цилиндров



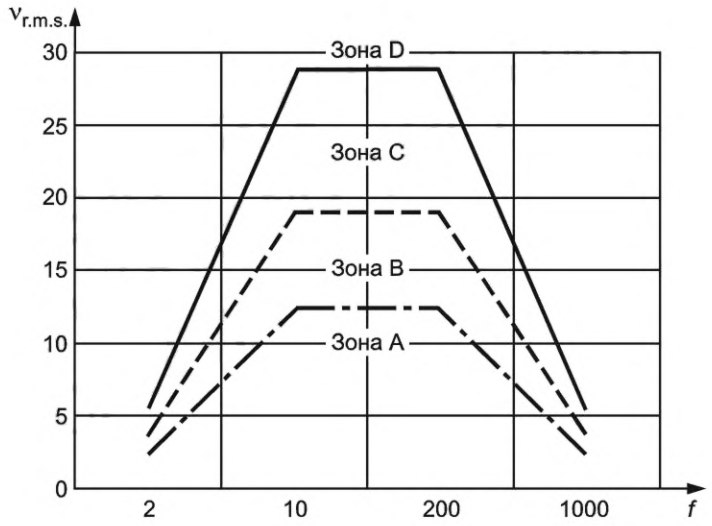
$v_{r.m.s.}$ — среднеквадратичное значение скорости, мм/с; f — частота, Гц

Рисунок В.3 — Границы зон для поперечной вибрации цилиндров компрессора с горизонтальным расположением цилиндров



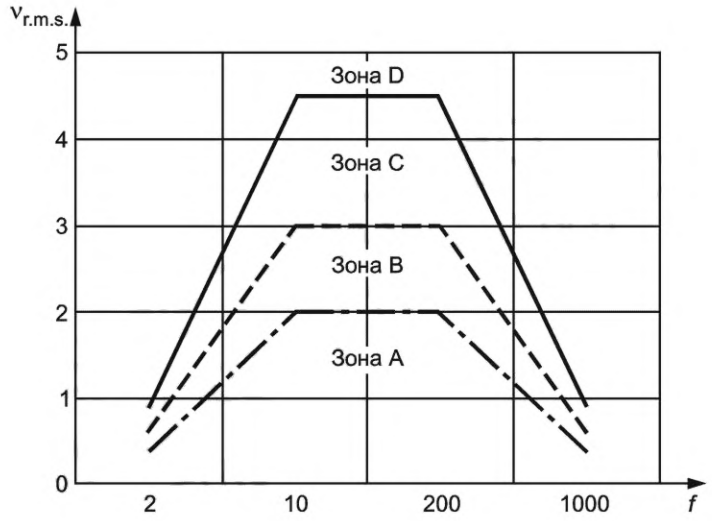
$v_{r.m.s.}$ — среднеквадратичное значение скорости, мм/с; f — частота, Гц

Рисунок В.4 — Границы зон для продольной вибрации цилиндров компрессора с горизонтальным расположением цилиндров



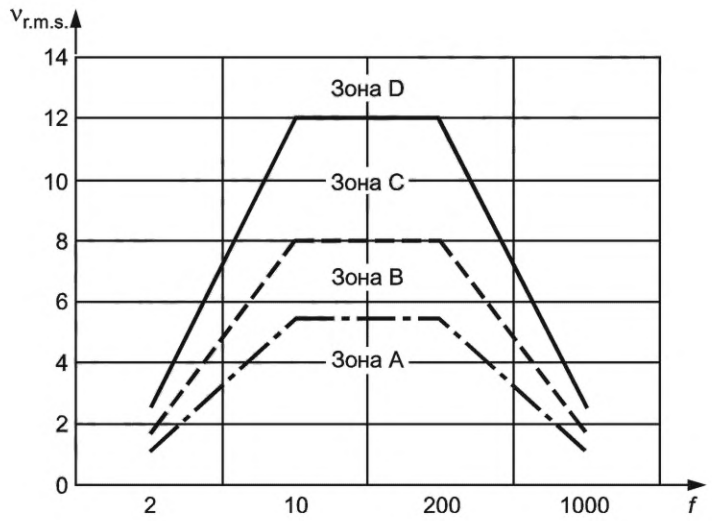
$v_{r.m.s.}$ — среднеквадратичное значение скорости, мм/с; f — частота, Гц

Рисунок В.5 — Границы зон для вибрации трубопроводов и демпферов пульсаций компрессора с горизонтальным расположением цилиндров



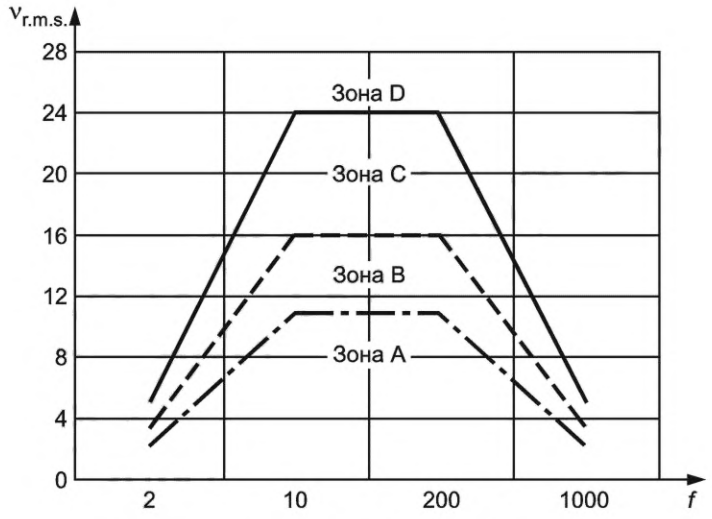
$v_{r.m.s.}$ — среднеквадратичное значение скорости, мм/с; f — частота, Гц

Рисунок В.6 — Границы зон для вибрации фундамента компрессора с вертикальным расположением цилиндров



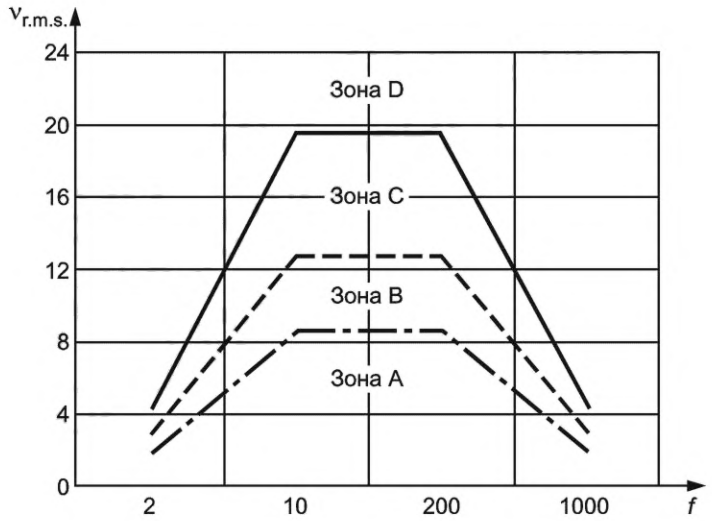
$v_{r.m.s.}$ — среднеквадратичное значение скорости, мм/с; f — частота, Гц

Рисунок В.7 — Границы зон для вибрации корпуса компрессора с вертикальным расположением цилиндров



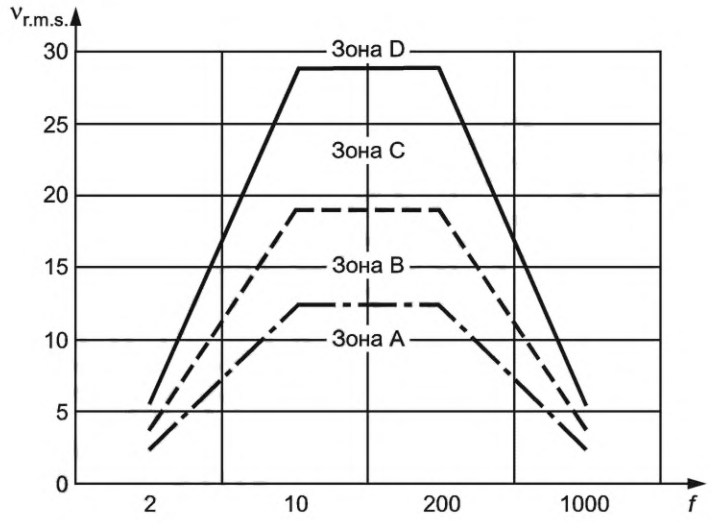
$v_{r.m.s.}$ — среднеквадратичное значение скорости, мм/с; f — частота, Гц

Рисунок В.8 — Границы зон для поперечной вибрации цилиндров компрессора с вертикальным расположением цилиндров



$v_{r.m.s.}$ — среднеквадратичное значение скорости, мм/с; f — частота, Гц

Рисунок В.9 — Границы зон для продольной вибрации цилиндров компрессора с вертикальным расположением цилиндров



$v_{r.m.s.}$ — среднеквадратичное значение скорости, мм/с; f — частота, Гц

Рисунок В.10 — Границы зон для вибрации трубопроводов
и демпферов пульсаций компрессора с вертикальным расположением цилиндров

Приложение С
(справочное)

Измерения вибрации на направляющих крейцкопфа

С.1 Общие положения

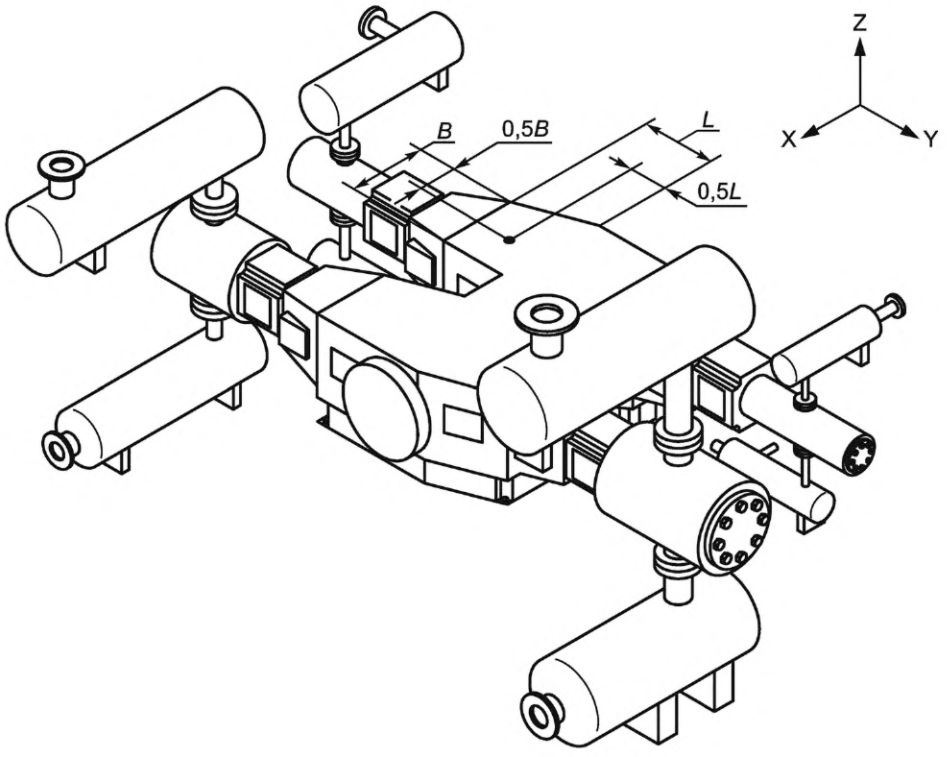
При решении задач контроля состояния внутренних элементов компрессорного оборудования часто измеряют ускорение на направляющих крейцкопфа. Вибрацию измеряют в направлении силы, с которой крейцкопф действует на направляющую. В случае компрессоров с горизонтальным расположением цилиндров это будет вертикальное направление. Опыт показывает, что в случае компрессоров с горизонтальным расположением цилиндров измерения на направляющей крейцкопфа являются полезным дополнением к измерениям в других точках, чтобы судить об угрозе целости оборудования. Процедура измерения вибрации на направляющих крейцкопфа, установленная настоящим стандартом, распространяется только на компрессоры с горизонтальным расположением цилиндров.

На вибрацию направляющих крейцкопфа оказывают влияние особенности установки компрессора, его нагрузка, скорость, направление вращения, резонансы конструкции. Результаты измерений будут зависеть также от типа применяемого преобразователя вибрации и соотношений выборки. В системах контроля уровни ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ и ОСТАНОВ, как правило, устанавливают для нормальных условий работы машины. Предельные значения, установленные в настоящем приложении, получены для диапазона измерений от 2 до 1000 Гц, но могут быть уточнены в зависимости от реальных режимов работы и особенностей конструкции компрессорной установки.

С.2 Точки и направления измерений

С.2.1 Точки измерений

Для горизонтальных компрессоров измерения проводят на каждой направляющей крейцкопфа в точке, указанной изготовителем. Если таких указаний нет, то датчик устанавливают сверху вдоль центральной оси цилиндра посередине области перемещения крейцкопфа (см. рисунок С.1). Эта точка должна находиться на жестком участке поверхности, а ее положение уточняют по чертежам изготовителя.



B — ширина направляющих крейцкопфа; *L* — длина области хода крейцкопфа

Примечание — Измерения проводят для каждого крейцкопфа.

Рисунок С.1 — Точки измерений на направляющих крейцкопфа компрессора с горизонтальным расположением цилиндров

С.2.2 Направления измерений

Измерения проводят в вертикальном направлении, что соответствует оси приложения силы на направляющие со стороны крейцкопфа.

С.3 Границы зон вибрационного состояния

Числовые значения границ зон вибрационного состояния для крейцкопфа, определенных через контролируемые параметры вибрации для перемещения, скорости и ускорения, для компрессоров с горизонтальным расположением цилиндров приведены в таблицах С.1—С.3 и изображены (для контролируемого параметра вибрации в единицах скорости) на рисунке С.2.

Таблица С.1 — Границы зон вибрационного состояния по перемещению

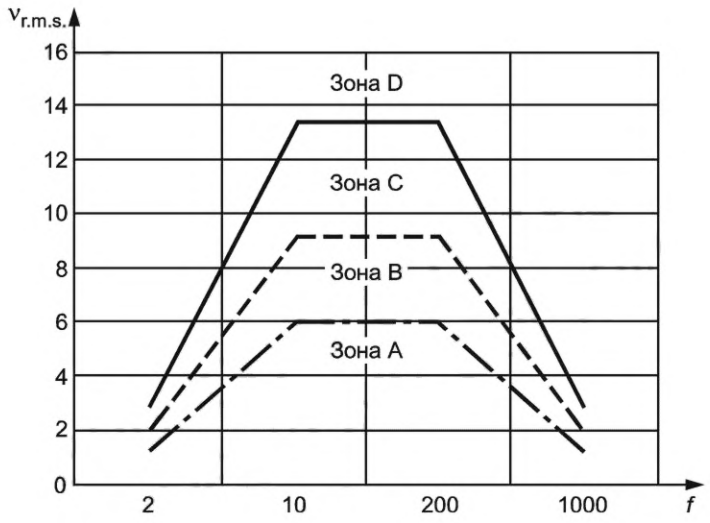
Элемент установки	Границы зон вибрационного состояния по перемещению, мм, для горизонтального компрессора		
	A/B	B/C	C/D
Направляющие крейцкопфа	0,095	0,143	0,215
Примечание — Границы по перемещению на направляющих крейцкопфа обычно не используют.			

Таблица С.2 — Границы зон вибрационного состояния по скорости

Элемент установки	Границы зон вибрационного состояния по скорости, мм/с, для горизонтального компрессора		
	A/B	B/C	C/D
Направляющие крейцкопфа	6,0	9,0	13,5

Таблица С.3 — Границы зон вибрационного состояния по ускорению

Элемент установки	Границы зон вибрационного состояния по ускорению, м/с^2, для горизонтального компрессора		
	A/B	B/C	C/D
Направляющие крейцкопфа	7,5	11,3	16,9
Примечание — Использование границ по ускорению на направляющих крейцкопфа является предпочтительным.			



$v_{r.m.s.}$ — среднеквадратичное значение скорости, мм/с; f — частота, Гц

Рисунок С.2 — Границы зон для направляющих крейцкопфа

Приложение D
(справочное)

Связь между параметрами вибрации

D.1 Общие положения

Среднеквадратичное значение одной из величин, характеризующих вибрацию, является удобным параметром для установления критериев вибрационного состояния в случае, если почти вся энергия сигнала вибрации приходится на гармонические составляющие.

Недостатки этого параметра при его применении в целях оценки угрозы прочности конструкции компрессорной установки от создаваемой вибрации проявляются в тех случаях, когда сигнал вибрации (особенно ускорения) содержит участки высоких всплесков короткой длительности. Такие всплески характеризуют ударные процессы и могут восприниматься на слух, но их энергия невелика, и, следовательно, они могут не вносить существенного вклада в среднеквадратичное значение. Следует учесть также, что высоким кратковременным всплескам ускорения будут соответствовать низкие уровни скорости и перемещения. Это легко объяснить, если принять во внимание, что скорость и перемещение получают интегрированием сигнала ускорения.

Всплески вибрации могут свидетельствовать о возможных больших местных напряжениях в элементах компрессорной установки или об ослаблениях в соединениях, как элементов внутри компрессора, так и присоединяемых к нему снаружи. Поэтому для обнаружения подобных явлений более подходящим параметром будет пиковое значение сигнала вибрации.

В общем случае не существует простых математических соотношений, связывающих среднеквадратичное и пиковое значения сигнала. Полезным инструментом для преобразования среднеквадратичного значения в пиковое может служить пик-фактор, если его значение известно.

В настоящем приложении рассматривается связь между среднеквадратичным и пиковым значениями сигнала через его пик-фактор.

D.2 Среднеквадратичное значение, пиковое значение и пик-фактор

D.2.1 Среднеквадратичное значение

Среднеквадратичное значение $U_{\text{r.m.s.}}$ сигнала $u(t)$ рассчитывают по формуле

$$U_{\text{r.m.s.}} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T u^2(t)\,\mathrm{d}t}, \tag{D.1}$$

где t — время;

T — интервал измерения.

Примечание — Величину, определяемую формулой (D.1), также называют истинным среднеквадратичным значением.

D.2.2 Пиковое значение

Пиковым значением $\hat{U}$ сигнала $u(t)$ называют максимальное значение этого сигнала на интервале измерения.

Примечание 1 — Под пиковым значением вибрации обычно понимают максимальное отклонение сигнала вибрации от его среднего уровня. При этом максимальное отклонение в положительную сторону называют положительным пиковым значением, а в отрицательную сторону — отрицательным пиковым значением.

Примечание 2 — Следует иметь в виду, под пиковым значением иногда понимают другие величины, которые не согласуются с настоящим стандартом и ИСО 2041. Так, могут быть использованы следующие термины:

- истинное пиковое значение, под которым понимают половину разности между максимальным и минимальным значением сигнала на интервале измерений;
- псевдопиковое значение, получаемое умножением $U_{\text{r.m.s.}}$ на коэффициент $\sqrt{2}$. Это определение основывается на соотношении между пиковым и среднеквадратичным значением для гармонического сигнала. В случае сигнала сложной формы понятие псевдопикового значения не имеет ясного смысла, но его, тем не менее, используют для приближенного описания сигнала. Псевдопиковое значение может быть меньше истинного пикового значения (например, в случае треугольного или пилообразного сигнала), равно ему (в случае гармонического сигнала) или превышать его (например, в случае сигнала в форме меандра).

D.2.3 Пик-фактор

Пик-фактор C_F сигнала представляет собой отношение пикового значения $\hat{U}$ сигнала к его среднеквадратичному значению $U_{\text{r.m.s.}}$:

$$C_F = \frac{\hat{U}}{U_{\text{r.m.s.}}}. \tag{D.2}$$

Примечание 1 — Следует иметь в виду, что разные определения пикового значения сигнала приводят к разным определениям пик-фактора.

Примечание 2 — Для поршневых компрессорных установок характерны значения пик-фактора от 2 до 4 в случае слабых ударных процессов внутри установки и в несколько раз большие значения, если ударные силы велики. Для других схожих машин, таких как объемные компрессоры или насосы, могут наблюдаться более высокие значения пик-фактора.

Примечание 3 — Если элемент установки (например, присоединенная труба малого диаметра) находится в условиях резонанса, то для него значение пик-фактора будет близко к $\sqrt{2}$.

Приложение Е
(обязательное)

Соединения ответвлений от трубопровода

Е.1 Общие положения

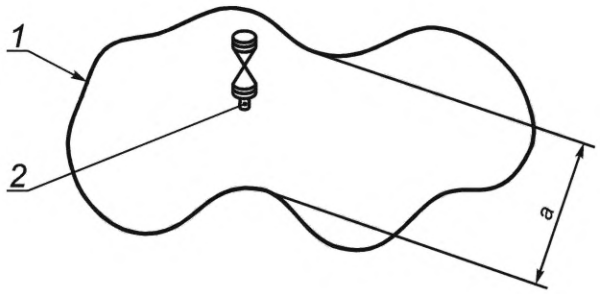
В настоящем приложении приведено руководство по выполнению измерений и классификации вибрации ответвлений малого диаметра от основного трубопровода.

В случае консольного закрепления на основном трубопроводе такое ответвление связано с оконечным устройством (перепускной клапан на патрубке, газоотводная трубка на демпфере пульсаций, датчик уровня на скрубберe), которое можно рассматривать как сосредоточенную массу.

Хотя вибрация самого основного трубопровода может быть приемлемой, передаваемая через тройник соединения она может усиливаться в зависимости от геометрии ответвления, вплоть до 30 раз при попадании в резонанс. При таких больших вибрациях риск разрушения соединения становится очень большим.

Рассматриваемая классификация вибрации ответвлений основана на необходимости предотвратить разрушение соединений. Цикл максимальных механических напряжений в соединении зависит от разности между максимальным и минимальным значением скорости вибрации с учетом фазовых соотношений. По этой причине приемлемая относительная вибрация определена для разности результатов измерений в двух точках (см. Е.2.1).

На рисунке Е.1 показано, каким образом определяют диаметр трубопровода для нецилиндрических частей.



1 — общая форма элемента; *2* — соединение ответвления;
a — минимальная ширина нецилиндрического элемента по прямой через точку соединения

Примечание — Значение минимальной ширины используют для расчета отношений диаметров (см. 3.7 и 3.8).

Рисунок Е.1 — Определение диаметра нецилиндрического элемента основного трубопровода

Наружные диаметры соединения показаны в таблице Е.1.

Таблица Е.1 — Диаметры соединения ответвления

			Основной трубопровод																					
Наружный диаметр, мм			60,3	73,0	88,9	102	114	168	219	273	324	356	406	457	508	610	660	711	762	813	864	914	965	1016
	NPS, дюйм		2	2,5	3	3,5	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24	26	28	30	32	34	36	38	40
		DN, мм	50	65	80	90	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
21,3	0,5	15																						
26,7	0,75	20																						
33,4	1	25																						
48,3	1,5	40																						
60,3	2	50																						
73,0	2,5	65																						
88,9	3	80																						
102	3,5	90																						
114	4	100																						

Примечание 1 — Затемненная область таблицы определяет отношения диаметров, рассматриваемые в настоящем приложении.

Примечание 2 — NPS — номинальный размер трубопровода (см., например, [13]), DN — номинальный диаметр (см., например, [3]).

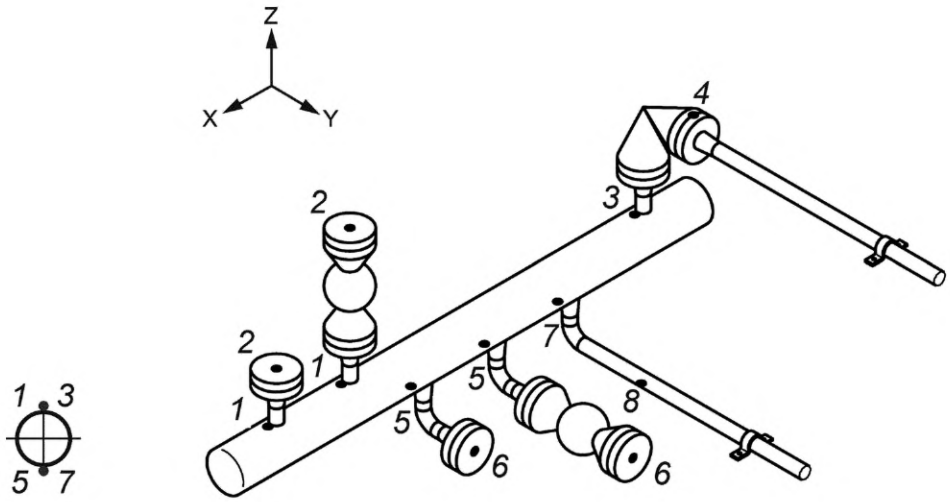
Е.2 Точки и направления измерений

Е.2.1 Точки измерений

Точки, для которых определяют разность скорости вибрации, расположены в месте наивысшей вибрации (т. е. в пучности колебаний) ответвления и в месте соединения ответвления с основным трубопроводом. Наивысшая вибрация ответвления обычно наблюдается на его конце (в месте соединения с оконечным устройством) или посередине между соединением с основным трубопроводом и первой точкой собственного крепления ответвления. Точки измерений для типичных конфигураций ответвлений от основного трубопровода схематично показаны на рисунке Е.2.

Е.2.2 Направления измерений

Измерения в каждой точке проводят в трех взаимно перпендикулярных направлениях X, Y, и Z.



a) Проекция со стороны основного трубопровода

b) Изометрическая проекция основного трубопровода с ответвлениями

1, *2* — точки измерений для ответвления сверху от основного трубопровода; *3*, *4* — точки измерений для ответвления перепускного клапана; *5*, *6* — точки измерений для ответвления снизу от основного трубопровода; *7*, *8* — точки измерений для ответвления, имеющего собственное крепление, снизу от основного трубопровода (точки *1*, *3*, *5* и *7* выбирают как можно ближе к месту ответвления)

Рисунок Е.2 — Точки измерений для типичных конфигураций ответвлений

Е.3 Рекомендуемые предельные значения для относительной вибрации ответвлений

Границы зон вибрационного состояния для широкополосной относительной вибрации в единицах перемещения, скорости и ускорения приведены в таблицах Е.2, Е.3 и Е.4.

Значения границ зон даны для разности вибрации основного трубопровода в месте ответвления и вибрации ответвления в точке, где она максимальна (см. рисунок Е.2). Разностный сигнал должен быть получен с учетом фазовых соотношений, т. е. вычитанием синхронно получаемых временных реализаций скорости вибрации на основном трубопроводе и на ответвлении с использованием одного и того же опорного временного сигнала. Такая обработка сигналов может быть выполнена с применением соответствующей многоканальной аппаратуры, а в случае ее отсутствия — с использованием запускающего сигнала для измерений с преобразователей, установленных на опорном трубопроводе и ответвлении. Однако применение многоканальной аппаратуры в общем случае обеспечивает лучшую точность измерений.

Таблица Е.2 — Границы зон вибрационного состояния по перемещению

Границы зон вибрационного состояния по перемещению, мм		
A/B	B/C	C/D
0,202	0,302	0,454

Таблица Е.3 — Границы зон вибрационного состояния по скорости

Границы зон вибрационного состояния по скорости, мм/с		
A/B	B/C	C/D
12,7	19,0	28,5

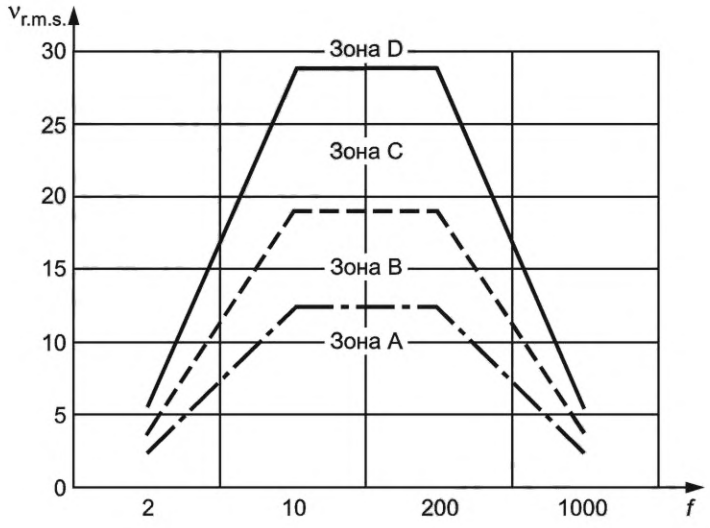
Таблица Е.4 — Границы зон вибрационного состояния по ускорению

Границы зон вибрационного состояния по ускорению, м/с^2		
A/B	B/C	C/D
16,0	23,9	35,8

Е.4 Графическое представление границ зон вибрационного состояния

Границы зон вибрационного состояния для среднеквадратичных значений скорости широкополосной относительной вибрации показаны на рисунке Е.3.

Границы зон построены на основе измерений относительной скорости вибрации для точек, показанных на рисунке Е.2, с учетом фазовых соотношений согласно Е.3.



$v_{r.m.s.}$ — среднеквадратичное значение скорости, мм/с; f — частота, Гц

Рисунок Е.3 — Границы зон вибрационного состояния для относительной вибрации ответвлений

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
ISO 2041	IDT	ГОСТ Р ИСО 2041—2012 «Вибрация, удар и контроль технического состояния. Термины и определения»
Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов: - IDT — идентичный стандарт.		

Библиография

[1] ISO 2954, Mechanical vibration of rotating and reciprocating machinery — Requirements for instruments for measuring vibration severity (Вибрация машин вращательного и возвратно-поступательного действия. Требования к средствам измерений вибрации в целях оценки вибрационного состояния)

[2] ISO 5348, Mechanical vibration and shock — Mechanical mounting of accelerometers (Вибрация и удар. Механическое крепление акселерометров)

[3] ISO 6708, Pipework components — Definition and selection of DN (nominal size) (Элементы трубопроводов. Определение и выбор номинального размера)

[4] ISO 10816 (all parts), Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts (Вибрация. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях)

[5] ISO 13373 1, Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring — Part 1: General procedures (Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния. Часть 1. Общие методы)

[6] ISO 13373 2, Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring — Part 2: Processing, analysis and presentation of vibration data (Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния. Часть 2. Обработка, анализ и представление результатов измерений вибрации)

[7] ISO 13373 3, Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring — Part 3: Guidelines for vibration diagnosis (Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния. Часть 3. Руководство по диагностированию по параметрам вибрации)

[8] ISO 13707, Petroleum and natural gas industries — Reciprocating compressors (Нефтяная и газовая промышленность. Компрессоры поршневые)

[9] ISO 18431 1, Mechanical vibration and shock — Signal processing — Part 1: General introduction (Вибрация и удар. Преобразование сигналов. Часть 1. Введение)

[10] ISO 18431 2, Mechanical vibration and shock — Signal processing — Part 2: Time domain windows for Fourier Transform analysis (Вибрация и удар. Преобразование сигналов. Часть 2. Временные окна для Фурье-анализа)

[11] ISO 20816-1, Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration — Part 1: General guidelines (Вибрация. Измерения вибрации и оценка вибрационного состояния машин. Часть 1. Общее руководство)

[12] API 618, Reciprocating compressors for petroleum, chemical, and gas industry services (Поршневые компрессоры для нефтяной, химической и газовой промышленности)

[13] ASME B31.3, Process piping (Трубопроводы технологические)

[14] VDI 3838, Measurement and evaluation of mechanical vibrations of reciprocating piston engines and piston compressors with power ratings above 100 kW. Addition to DIN ISO 10816 6 (Измерения и оценка вибрации поршневых двигателей и компрессоров номинальной мощностью свыше 100 кВт. Дополнение к DIN ISO 10816-6)

[15] VDI 3839 Part 1, Instructions on measuring and interpreting the vibrations of machines — Part 1: General principles (Указания по измерениям вибрации машин и интерпретации результатов измерений. Часть 1. Общие принципы)

[16] VDI 3839 Part 8, Instructions on measuring and interpreting the vibrations of machines — Part 8: Typical vibration patterns with reciprocating compressors (Указания по измерениям вибрации машин и интерпретации результатов измерений. Часть 8. Типовая классификация вибрации поршневых компрессоров)

[17] VDI 3842, Vibrations in pipe systems (Вибрация трубопроводов)

[18] Mills S. Vibration monitoring and analysis handbook. BINDT, 2010

[19] EFRC. Guidelines for vibrations in reciprocating compressor systems. 4th edition, 2017

gost.e-ecolog.ru

УДК 621.9:534.1.08:006.354 ОКС 17.160

Ключевые слова: установки компрессорные поршневые, вибрация, измерения, вибрационное состояние, механическая прочность, критерии оценки, контроль

Редактор *Л.В. Коретникова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Р.А. Ментова*
Компьютерная верстка *Е.А. Кондрашовой*

Сдано в набор 27.12.2023. Подписано в печать 17.01.2024. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 4,18. Уч.-изд. л. 3,55.

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