



ООО «ТрансАкустик»

WWW.ACOUSTIC.BY

Снижение шума и вибрации инженерного оборудования в жилых зданиях

Case 1

Контактные телефоны: +375 (17) 2547909
+375 (44) 5708948

Гвоздев Виктор

Адрес: г. Минск, ул. Матусевича 35/1, оф. 36

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ.

Проектирование виброизолирующих конструкций сводится к выбору конструктивной схемы виброизоляции, подбору типа и параметров виброизоляторов по известной номенклатуре (реже их рассчитывают и проектируют), выбору конструкции пола на упругом основании (если он требуется), расчету эффективности принятой конструкции (виброизоляции).

Все рассмотренные виброизолирующие конструкции снижают передаваемую на фундамент вибрацию только на частотах, превышающих основную частоту собственных вертикальных колебаний f_0 (резонансную частоту) системы, состоящей из машины, установленной на виброизолирующем основании. При выборе виброизолирующих конструкций исходят из требования

$$f_p/f_0 > 3 \div 4$$

где f_p - рабочая частота машины (оборудования), Гц, - это частота оборотов в секунду для машин с вращающимися частями (насосы, вентиляторы), число ходов в секунду машин с возвратно-поступательно движущимися частями (поршневые компрессоры).

Если жесткость неопорных связей (трубопроводов, гибких вставок и т.д.) не более половины жесткости виброизоляторов, то могут быть выбраны виброизоляторы и спроектирована виброизолирующая конструкция. В противном случае необходимо учитывать жесткость неопорных связей – выбор виброизоляторов и самой виброизолирующей конструкции становится более сложным.

При виброизоляции машин с рабочими частотами менее 18...20 Гц следует применять пружинные виброизоляторы. При больших рабочих частотах можно использовать как пружинные виброизоляторы, так и упругие прокладки из эластомерного материала Sylomer®. Пружинные виброизоляторы, обладая меньшей частотой f_0 , обеспечивают большую виброизоляцию на низких частотах, чем другие виды виброизоляторов из эластичных материалов. Однако последние на средних и высоких частотах более эффективны, поскольку волновые резонансные явления, ухудшающие виброизоляцию, в них наступают на более высоких частотах, чем в пружинах и, кроме того, менее выражены из-за существенно больших внутренних потерь энергии.

Из-за указанных явлений виброизоляция пружинами на средних и высоких частотах падает и весьма невелика. Некоторое увеличение ее достигается при установке резиновых прокладок между пружинами и фундаментом. На больших частотах дополнительная виброизоляция растет с частотой и становится тем выше, чем больше коэффициент потерь, толщина и коэффициент формы прокладки. Поэтому их следует изготавливать из перфорированной, а не сплошной резины, как это обычно делают.

Вопреки распространенному мнению, тонкие резиновые прокладки не устраняют основного недостатка пружинных виброизоляторов - низкую виброизоляцию на средних и высоких частотах.

Виброизоляторы располагают так, чтобы их центр жесткости находился на одной вертикали с центром масс виброизолированной установки; при этом виброизоляторы должны иметь одинаковую осадку.

Плавающие полы без специальных виброизоляторов можно использовать только с оборудованием, имеющим рабочие частоты более 45...50 Гц. Это, как правило, небольшие машины, виброизоляция которых может быть обеспечена и другими способами. Эффективность полов на упругом основании на столь низких частотах невелика. Поэтому применяют их только в сочетании с другими видами виброизоляторов, что обеспечивает высокую виброизоляцию на низких частотах (за счет виброизоляторов), а также на средних и высоких (за счет виброизоляторов и плавающего пола).

Стяжка плавающего пола должна быть тщательно изолирована от стен и несущей плиты перекрытия, так как образование даже небольших жестких мостиков между ними может

существенно ухудшить его виброизолирующие свойства. Поэтому при конструировании плавающего пола предусматривают мероприятия, предупреждающие просачивание бетона в упругий слой при изготовлении пола. В местах примыкания плавающего пола к стенам необходим шов из нетвердеющих материалов, не пропускающий воду.

При линейных размерах стяжки плавающего пола более 8...10 м с целью предотвращения растрескивания бетона рекомендуется выполнять разделительные швы, которые не должны проходить вблизи места установки инженерных агрегатов. Большие агрегаты следует располагать в центре отдельных плит, на которые швами разбивается вся стяжка плавающего пола.

Конструкция плавающего пола должна обеспечивать ее несущую способность на действие статической нагрузки от оборудования.

Пример конструкции звукоизоляционного плавающего пола показан на рис. 4.

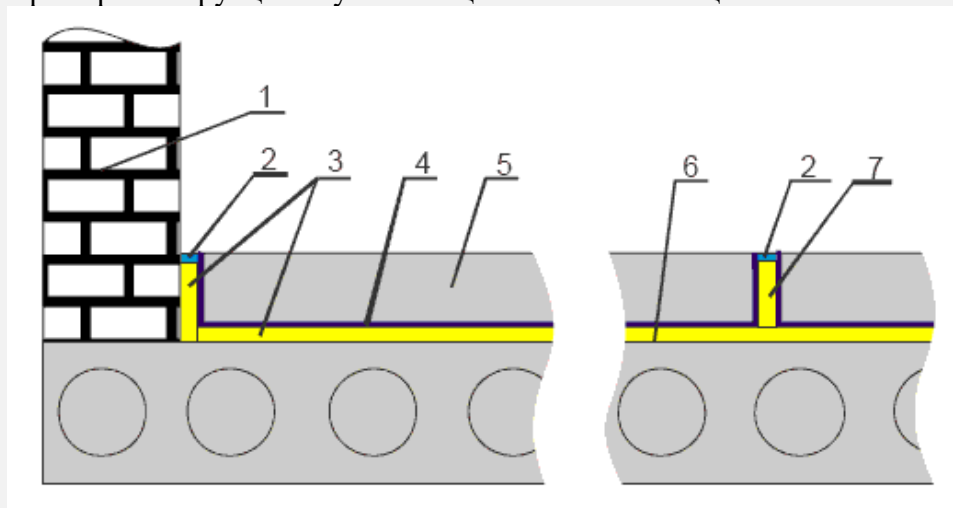


Рис. 4 Принципиальная схема устройства звукоизоляционного плавающего пола

- 1 – стена здания;
- 2 – невысыхающий герметик;
- 3 – звукопоглощающие плиты "Шумостоп";
- 4 – гидроизолирующий слой полиэтилена;
- 5 – бетонная стяжка толщиной 80 мм, армированная металлическими конструкциями;
- 6 – плита перекрытия;
- 7 – технологический деформационный шов
(выполняется в случае необходимости).

За счет установки инженерной машины на железобетонную плиту достигается снижение уровня колебаний самой машины и увеличивается ее устойчивость на пружинах. На низких частотах даже при неизменном значении f_0 возможно небольшое увеличение виброизоляции за счет разделения разных пространственных форм колебаний машины, установленной на виброизоляторах, которое не учитывается в одномерной расчетной схеме. Однако в звуковом диапазоне частот в целом виброизоляция заметно увеличивается за счет возрастания импеданса виброизолированной установки.

При использовании фундаментных железобетонных плит в отдельных полосах частот может быть и снижение виброизоляции. Это происходит в случаях, когда из-за увеличения массы виброизолированной установки и применения больших пружин октавная полоса, в которую попадает первая волновая резонансная частота пружин, и с которой начинается «провал» виброизоляции пружинами, сдвигается на октаву вниз. Поэтому лучше устанавливать инженерный агрегат на пружинные виброизоляторы меньших номеров (при их большем количестве), чем больших (их потребуется меньше), поскольку у последних раньше начинается спад виброизоляции.

В звуковом диапазоне частот железобетонные плиты лучше работают, если (при заданной массе) они имеют минимальные размеры в плане, но большую толщину. Для повышения акустической виброизоляции не следует делать больших в плане железобетонных плит, на которых устанавливают сразу несколько машин — например, основной и резервный насосы.

Железобетонную плиту устанавливают также в тех случаях, когда жесткость подходящих к машине трубопроводов с гибкими вставками соизмерима или превышает общую жесткость виброизоляторов, которые потребовались бы для установки машины без этой плиты. Такое положение может иметь место, например, при виброизоляции насосов. За счет установки железобетонной плиты увеличивается общая масса виброизолированной установки и снижается частота ее собственных колебаний, так как уменьшается влияние жесткости присоединенных трубопроводов. В результате, дополнительно к сказанному выше, достигается увеличение виброизоляции и на низких частотах. В ряде случаев жесткость присоединенных к машине трубопроводов с гибкими вставками оказывается настолько большой, что она вообще не может быть виброизолирована без установки железобетонной плиты.

При устройстве массивных виброизолированных оснований необходимо учитывать наличие внутренних виброизолирующих элементов у вентиляционного и компрессорного оборудования. В этих случаях внутренние виброизолирующие элементы рекомендуется шунтировать с помощью резьбовых или винтовых соединений.

Примеры устройства виброизолирующих оснований

Рассмотрим пример устройства виброизолирующих оснований для трех различных вентиляционных агрегатов, закрепленных на железобетонной фундаментной плите и установленных на монолитную плиту межэтажного перекрытия толщиной 200 мм.

Все агрегаты имеют одинаковую массу 610 кг и разные рабочие частоты вращения движущихся частей:

Агрегат №1: 750 об/мин;

Агрегат №2: 1450 об/мин;

Агрегат №3: 3000 об/мин.

Габаритные размеры каждого агрегата: 2100 x 1300 x 1300 мм.

Рабочие частоты агрегатов f_p , Гц определяются следующим образом:

$$f_{p1} = 750/60 = 12,5 \text{ Гц};$$

$$f_{p2} = 1450/60 = 24,2 \text{ Гц};$$

$$f_{p3} = 3000/60 = 50 \text{ Гц};$$

Размеры фундаментной железобетонной плиты выбираются таким образом, чтобы её масса в 2-3 раза превышала массу вентиляционного агрегата.

Выберем размеры фундамента: 2300 x 1500 x 150 мм. Масса такого фундамента из тяжелого бетона составляет 1242 кг.

Рассмотрим три различных типа виброизолирующих оснований:

1. Принципиальная схема №1.

- устройство виброизолирующего основания с помощью 8 пружинных виброизоляторов Isotop и конструкции плавающего пола (рис. 5);

2. Принципиальная схема №2.

- устройство виброизолирующего основания с применением упругих элементов из материала «Sylomer®» толщиной 50 мм (рис. 6);

3. Принципиальная схема №3.

- устройство виброизолирующего основания с применением звукоизолирующего материала «Шумостоп» общей толщиной 60 мм (рис. 7).

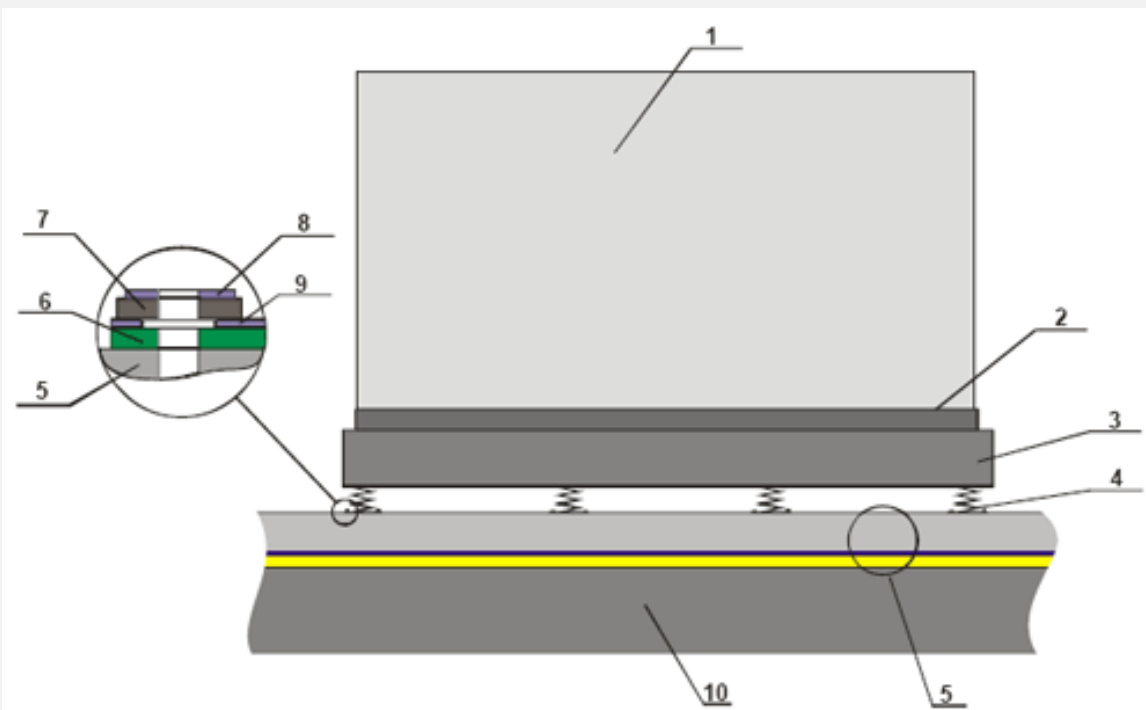


Рис. 5 Принципиальная схема №1

- 1 – вентиляционный агрегат;
- 2 – металлическая опорная рама;
- 3 – фундаментная плита толщиной 150 мм;
- 4 – пружинный виброизолятор Isotop;
- 5 – конструкция плавающего пола;
- 6 – резиновая прокладка толщиной 10 мм по всей площади опорной пластины;
- 7 – резиновая шайба толщиной 10 мм и размером 40х40 мм;
- 8 – стальная шайба;
- 9 – стальная нижняя пластина опоры виброизолятора;
- 10 – плита перекрытия.

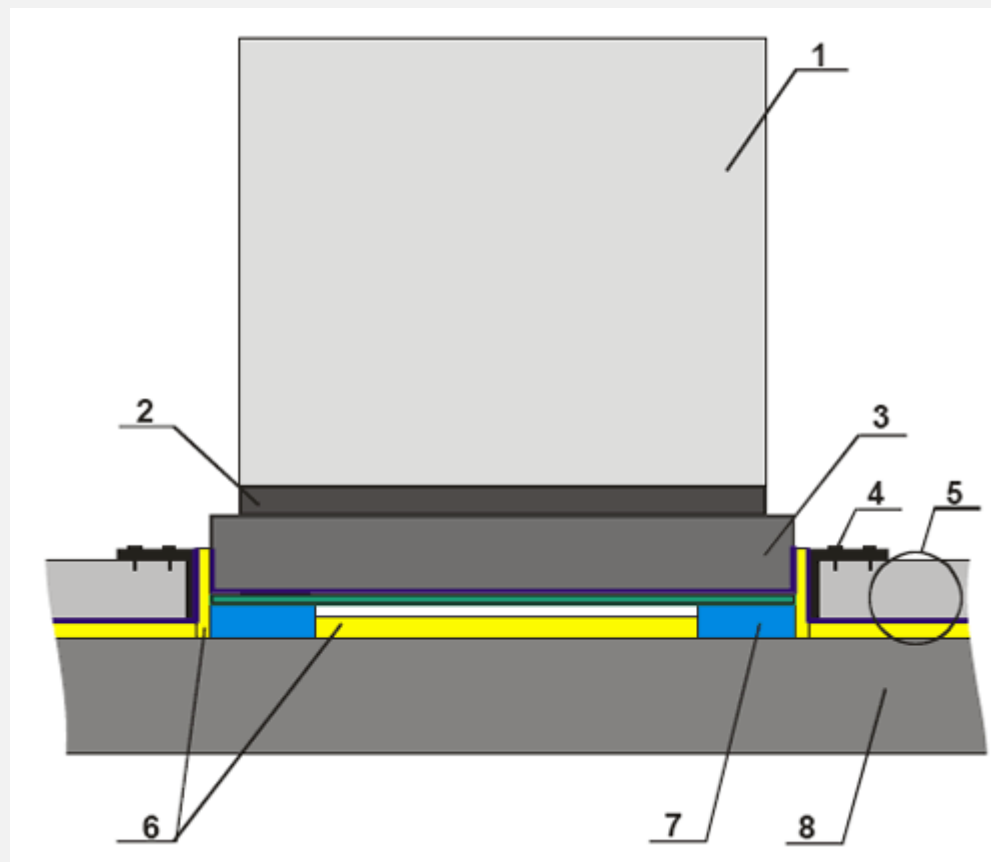


Рис. 6 Принципиальная схема №2.

- 1 – вентиляционный агрегат;
- 2 – металлическая опорная рама;
- 3 – фундаментная плита толщиной 150 мм;
- 4 – металлический уголок (монтируется в случае необходимости);
- 5 – конструкция плавающего пола;
- 6 – звукопоглощающие плиты «Шумостоп» толщиной 20 мм;
- 7 – виброизолирующий элемент «Sylomer®R» размером 2300x200x50 мм;
- 8 – плита перекрытия.

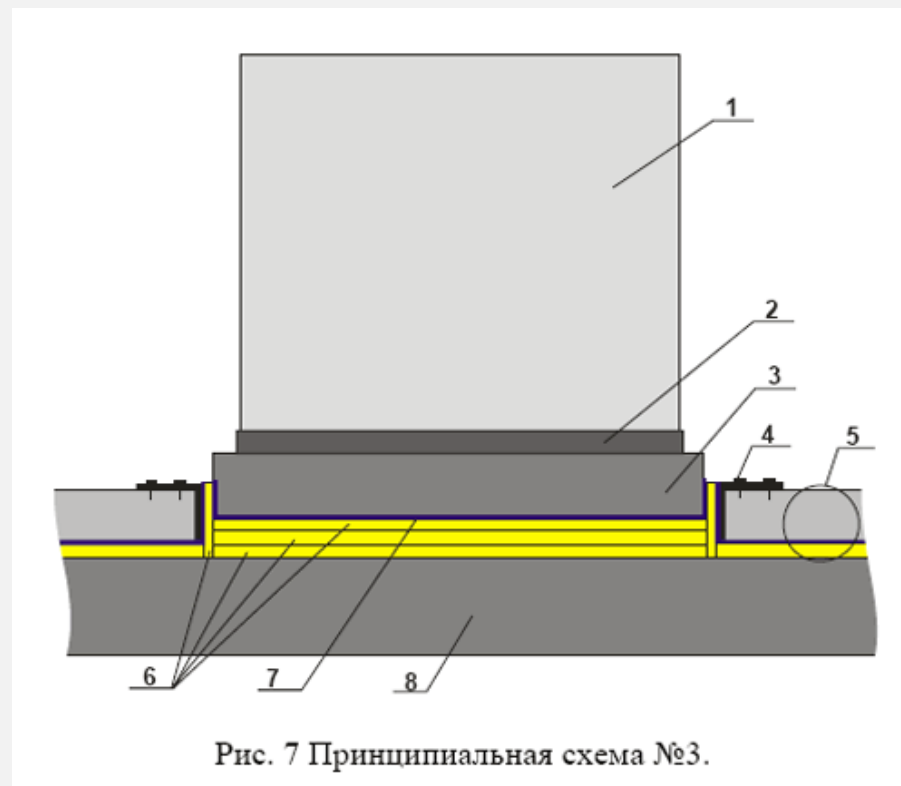


Рис. 7 Принципиальная схема №3.

Рис. 7 Принципиальная схема №3.

- 1 – вентиляционный агрегат;
- 2 – металлическая опорная рама;
- 3 – фундаментная плита толщиной 150 мм;
- 4 – металлический уголок (монтируется в случае необходимости);
- 5 – конструкция плавающего пола;
- 6 – звукопоглощающие плиты «Шумостоп» толщиной 20 мм;
- 7 – гидроизолирующий слой полиэтилена;
- 8 – плита перекрытия.

Согласно результатам акустических расчетов, рассматриваемые виброизолирующие основания имеют следующие значения частоты собственных вертикальных колебаний f_0 , Гц:

- $f_{01} = 2$ Гц;
- $f_{02} = 12$ Гц;
- $f_{03} = 20$ Гц.

Эффект от применения различных схем виброизоляции данного агрегата изменяется позитивного к негативному (табл.1).

	Схема №1 $f_{01}=2\text{Гц}$	Схема №2 $f_{01}=12\text{Гц}$	Схема №3 $f_{01}=20\text{Гц}$
Агрегат №1, $f_{p1} = 12'5 \text{ Гц}$	колебания фундамента снижаются	резонанс, резкое усиление колебаний фундамента	колебания фундамента не снижаются
Агрегат №2, $f_{p1} = 24'2 \text{ Гц}$	колебания фундамента снижаются	колебания фундамента снижаются	резонанс, резкое усиление колебаний фундамента
Агрегат №3, $f_{p1} = 50 \text{ Гц}$	колебания фундамента снижаются	колебания фундамента снижаются	колебания фундамента снижаются

Таблица 1. Результат применения различных виброизолирующих оснований

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. эффективность виброизоляции инженерного оборудования (например, вентиляционного) зависит от его рабочей частоты;
2. эффективность виброизоляции инженерного оборудования зависит от примененной схемы виброизоляции;
3. неправильный выбор схемы виброизоляции может привести к неконтролируемому увеличению амплитуды колебаний фундамента инженерного оборудования.

Из результатов расчетов следует, что схема виброизоляции №1 теоретически является наиболее эффективной для виброизоляции низкочастотных инженерных агрегатов. Но на практике применение пружинных виброизоляторов имеет ряд ограничений и недостатков, связанных со значительной толщиной виброизолирующего основания, снижением эффективности виброизоляции на частотах волнового совпадения, необходимостью тщательно рассчитывать центр масс агрегатов для обеспечения равномерной нагрузки на пружины.

Две другие схемы в меньшей степени подвержены указанным недостаткам, обеспечивают надежную конструкционную устойчивость оснований оборудования, но имеют ограничения по частотному диапазону эффективной виброизоляции.

Виброизоляция трубопроводов (воздуховодов) инженерных сетей

Виброизоляция неопорных связей (трубопроводов, воздуховодов и т.п.) выполняется с целью обеспечения требуемой свободы движения виброизолированной машины за счет снижения жесткости рассматриваемых связей. Это необходимо для эффективной работы виброизоляторов и снижения звуковой энергии, распространяющейся через эти связи.

Для виброизоляции на каждом трубопроводе (или воздуховоде), присоединенном к машине, устанавливают гибкие вставки. Их следует располагать как можно ближе к вибрирующему агрегату. Если жесткость этих вставок мала по сравнению с жесткостью виброизоляторов (например, у вентиляторов), то не имеет существенного значения, как они ориентированы. В тех случаях, когда жесткость гибких вставок сравнима с жесткостью виброизоляторов (насосные агрегаты, компрессоры) вставки следует располагать так, чтобы влияние их жесткости было минимально в направлениях действия наибольших динамических сил, развиваемых инженерной машиной.

Например, гибкие вставки для насосных агрегатов имеют большую жесткость в продольном направлении и меньшую в поперечном. Поэтому их следует располагать параллельно оси вращения.

В некоторых случаях на одном трубопроводе устанавливают две гибкие вставки на двух его расположенных рядом взаимно перпендикулярных участках. Тогда обеспечивается полезная для виброизоляции относительно низкая жесткость этой связи во всех направлениях.

Увеличение числа гибких вставок на трубопроводе более одной-двух не приводит к снижению, распространяющейся по нему, звуковой вибрации, которая все равно распространяется по содержащейся в нем воде (воздуху).

На участках трубопроводов (воздуховодов) между агрегатом и гибкой вставкой не рекомендуется выполнять узлы крепления к строительным конструкциям (даже виброизолированным).

Трубопроводы (воздуховоды) не должны иметь жесткого контакта с ограждающими конструкциями. Часто жесткое крепление трубопроводов и воздуховодов к строительным конструкциям является причиной недопустимого уровня шума в удаленных помещениях, расположенных через несколько этажей от данного места крепления.

Крепление трубопроводов и воздуховодов к строительным конструкциям необходимо производить при помощи виброизолирующих креплений «Виброфлекс™» с упругим элементом на основе материала Sylomer (рис.8).

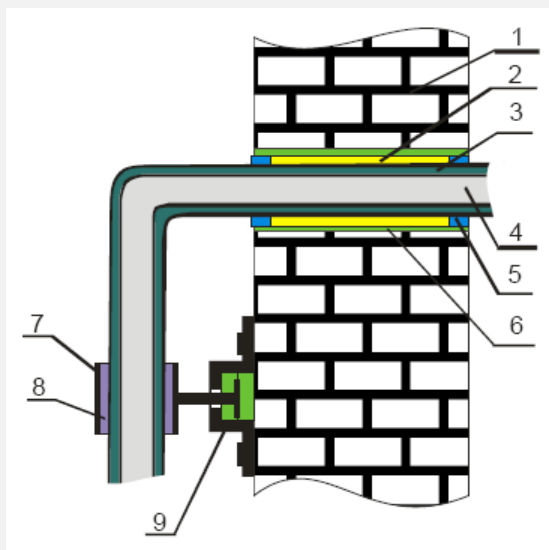


Рис.8 Схема прокладки инженерных сетей

- 1 – стена;
- 2 – негорючая упругая прокладка из материала «Шуманет БМ»;
- 3 – вибродемпфирующий материал K-Flex;
- 4 – трубопровод;
- 5 – невысыхающий герметик;
- 6 – гильза;
- 7 – монтажный кронштейн;
- 8 – прокладка из мягкой резины;
- 9 – виброизолирующее крепление «Виброфлекс 1/30»

Прокладка трубопроводов (воздуховодов) через стены и перегородки должна быть выполнена с применением виброразвязанных гильз. Для виброразвязки следует применять негорючие упругие прокладки из материала «Шуманет БМ». Стыки и промежутки между воздуховодами и гильзами необходимо герметизировать невысыхающим виброакустическим герметиком (рис.8, рис. 9).

Трубопроводы и участки жестких воздуховодов рекомендуется виброизолировать материалом K-Flex ST из вспененного каучука. Трубную изоляцию рекомендуется крепить к поверхности трубопроводов с помощью специального клея.

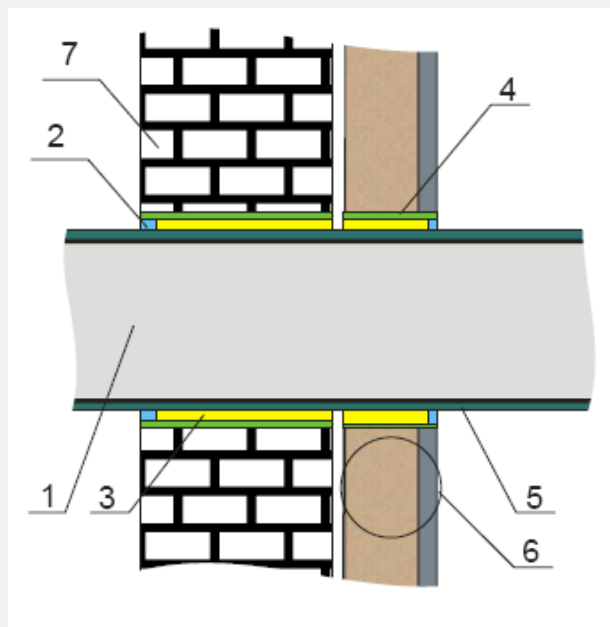


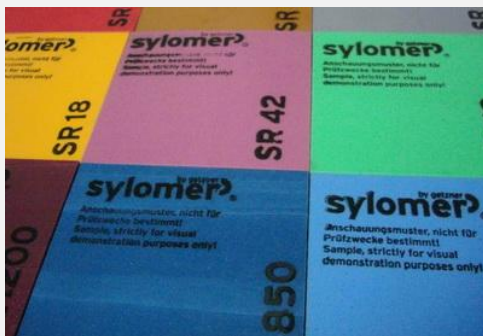
Рис.9 Схема прокладки вентиляционных каналов через стены

- 1 – вентиляционный канал;
- 2 – виброакустический силиконовый герметик;
- 3 – негорючая упругая прокладка из материала «Шуманет БМ»;
- 4 – гильза;
- 5 – вибродемпфирующий материал K-Flex ST;
- 6 – звукоизоляционная или звукопоглощающая облицовка;
- 7 – стена или перегородка.

В данных рекомендациях описаны только основные принципы виброизоляции. Правильный выбор схемы виброизоляции инженерного оборудования требует учета широкого спектра параметров, как самих агрегатов, так и виброизолирующих оснований.

ООО «ТрансАкустик» выполняет проекты и поставку материалов для виброизоляции и звукоизоляции различных помещений, любой сложности

Характеристики материала Sylomer от компании Getzner (Австрия)



Материал Sylomer® - профессиональный продукт применяемый для виброизоляции в различных областях машиностроения, гражданского и транспортного строительства от компании Getzner Werkstoffe GmbH (Австрия), занимающей лидирующую позицию в области виброизоляции в мире. В большинстве случаев Sylomer® используется в качестве эластичной прокладки подобно пружине.

Материал Sylomer® даёт возможность создать множество различных конструкций. Возможна реализация полноплоскостной, ленточной или точечной конструкций изолирующей опоры. При применении материала не существует жестких требований к тому, в каком месте конструкции должна находиться упругая прослойка. Упругое разделение реализуется там, где это наиболее благоприятно для проектирования. Широкий ряд стандартных марок материала позволяет осуществить оптимальный выбор в зависимости от площади опоры и приложенной нагрузки. Дополнительные амортизирующие элементы, как правило, не требуются.

Виброакустические характеристики

Тип материала

SR 11	SR 18	SR 28	SR 42	SR 55	SR 110	SR 220	SR 450	SR 850	SR 1200
----------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------	------------

Свойства	Методика испытаний	желтый	оранжевый	синий	розовый	зеленый	коричневый	красный	серый	бирюзовый	фиолетовый
Цвет		желтый	оранжевый	синий	розовый	зеленый	коричневый	красный	серый	бирюзовый	фиолетовый
Предельная статическая нагрузка, [Н/мм ²]*		0.011	0.018	0.028	0.042	0.055	0.110	0.220	0.450	0.850	1.200
Пиковая нагрузка, [Н/мм ²] (максимум)*		0.5	0.75	1.0	2.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0
Фактор механических потерь	DIN 53513	0.25	0.23	0.21	0.16	0.17	0.13	0.13	0.11	0.12	0.09
Статический модуль сдвига, [Н/мм ²]	DIN ISO 1827	0.03	0.05	0.07	0.08	0.13	0.22	0.35	0.58	0.8	0.9
Динамический модуль сдвига, [Н/мм ²]	DIN ISO 1827	0.1	0.12	0.15	0.17	0.26	0.42	0.64	1.0	1.4	1.6
Абразивный износ, мм ³	DIN 53516	1400	400	1300	1200	1100	1100	1000	400	300	350
Статический модуль упругости, [Н/мм ²] (при предельной статической нагрузке)*	DIN 53513	0.061	0.097	0.166	0.282	0.367	0.87	1.44	3.30	7.2	10.4
Динамический модуль упругости, [Н/мм ²] (при предельной статической нагрузке)*	DIN 53513	0.172	0.280	0.437	0.611	0.753	1.36	2.54	5.04	11.1	16.4
Сопротивление растяжению при деформации 10%, [Н/мм ²]		0.012	0.020	0.031	0.047	0.061	0.12	0.22	0.42	0.86	1.08
Интервал рабочих температур, °C		от -30 до +70									
Пиковая температура, °C (кратковременно)	short term	+120									
Горючесть	DIN 4102 EN ISO 11925-2	B2 B, C и D									

*данные приведены для материалов толщиной 25 мм, формфактор q=3.

Характеристики пружин Isotop от компании Reinicke (Австрия)



Пружинные виброизоляторы ISOTOP (Изотоп) производства компании Reinicke (Германия) – это уникальное инженерное решение задачи по снижению уровня шума и вибраций инженерного оборудования.

Изготавливаются из высококачественной стали с антикоррозионным покрытием.

Пружины крепятся к опорным пластинам для обеспечения высокой устойчивости виброизолируемого оборудования. В каждой из опорных пластин предусмотрено по два отверстия для крепления виброизоляторов. Позволяют получить наиболее низкую частоту собственных колебаний.

Широкий ряд стандартных типоразмеров позволяет виброизолировать оборудование массой от 10 кг до десятков тонн. Срок службы практически не ограничен.

Область применения

Пружинные виброизоляторы ISOTOP применяются в качестве упругого элемента при устройстве виброизолирующих оснований вентиляционного, компрессорного, насосного и других видов инженерного оборудования. Характеристики виброизоляторов подбираются в соответствии с массогабаритными и частотными параметрами изолируемого оборудования, а также в соответствии с условиями его закрепления.



Конструкция

- стальная опорная пластина;
- пружина;
- демпфер

Отличительные особенности

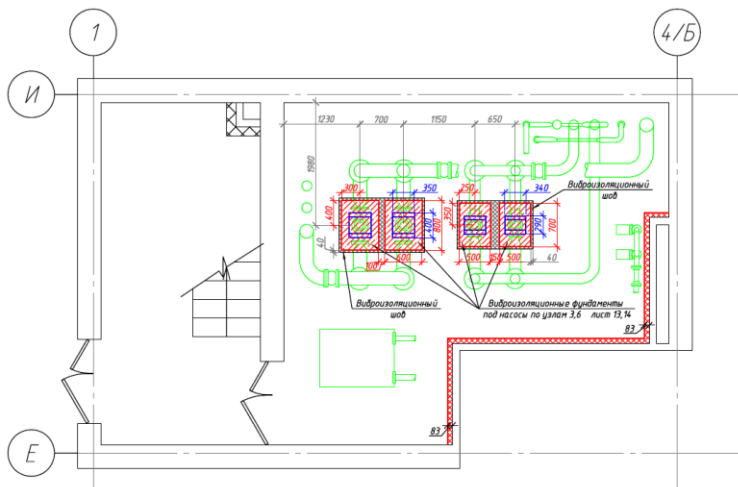
- низкая резонансная частота (3,0-3,2 Гц при рабочей нагрузке)
- выдерживают долговременные динамические нагрузки.

Крепление насосов до мероприятий

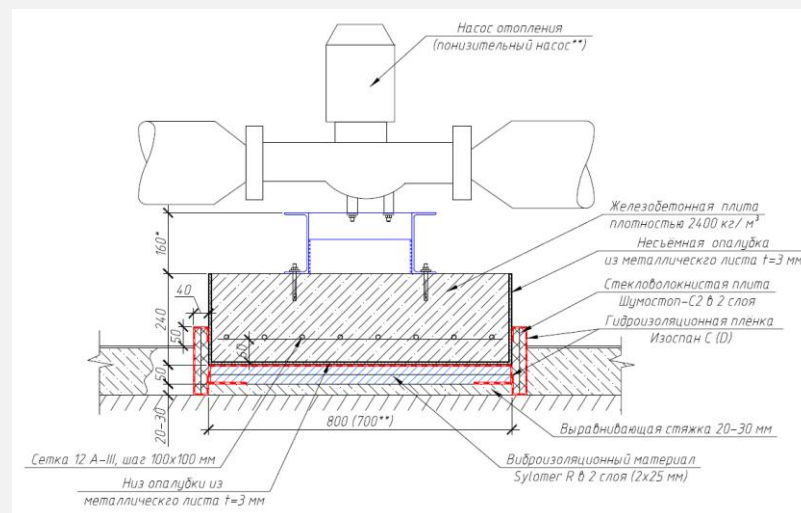
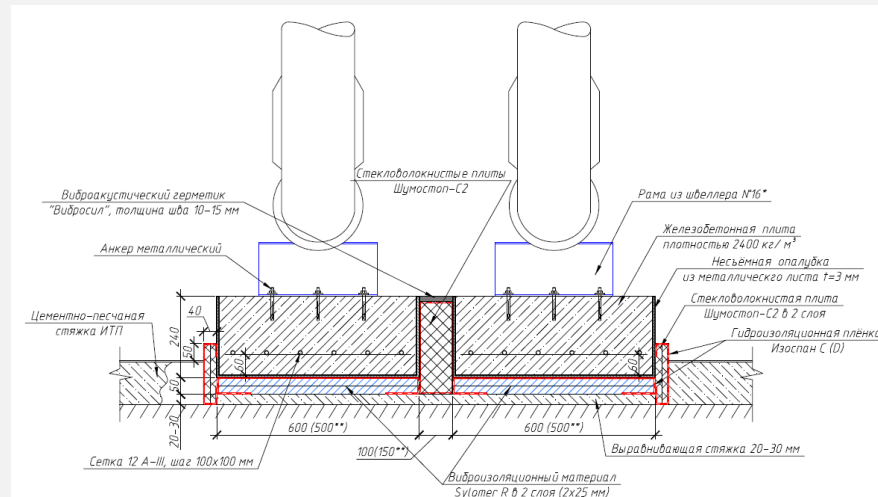
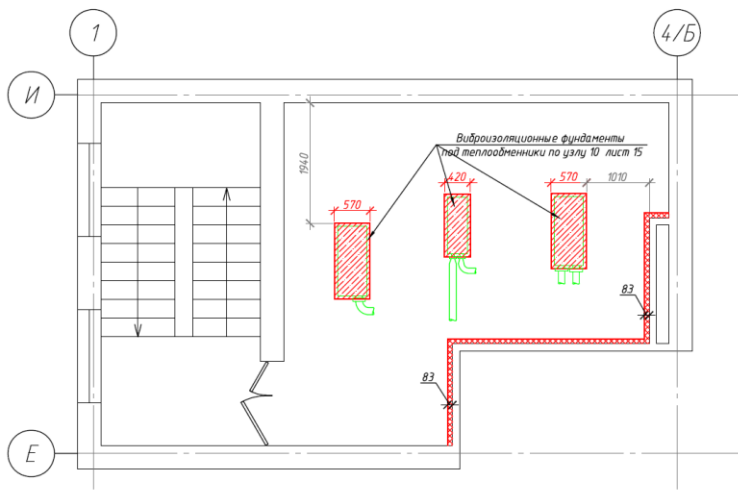


Проектное решение виброизоляции насосов

План расположения виброизоляционных фундаментов на отм 0.000



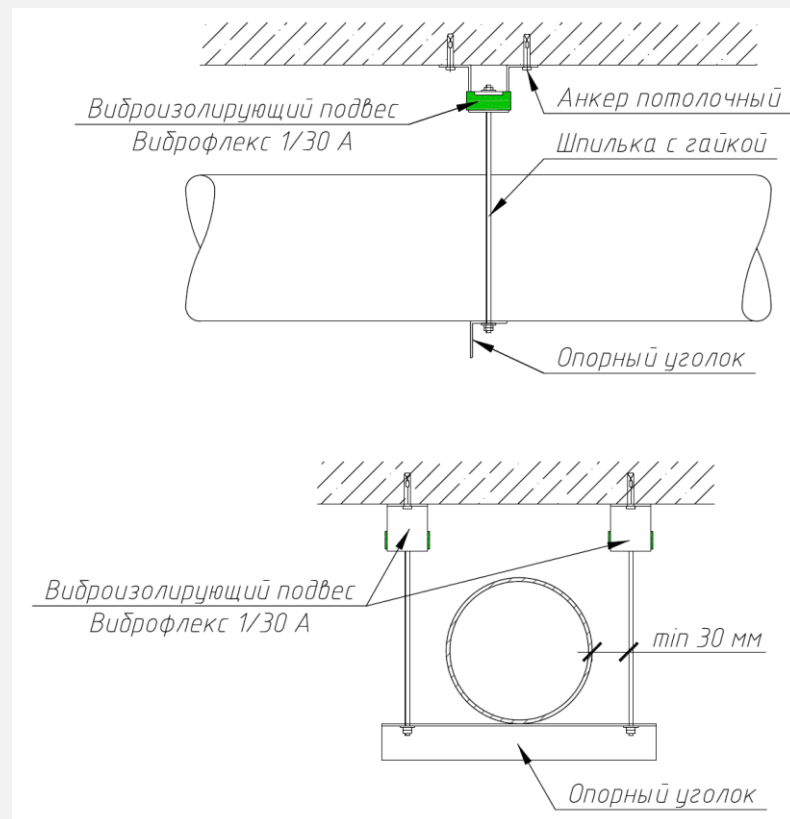
План расположения виброизоляционных фундаментов на отм 2.900



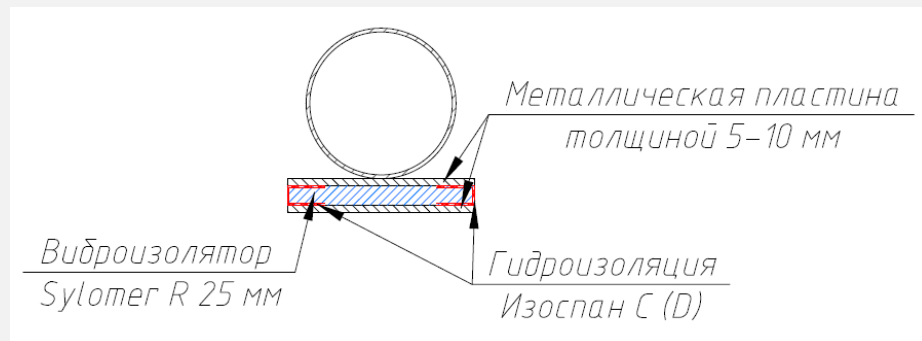
Виброизоляционные фундаменты под насосы



Виброизоляция трубопроводов



Виброизоляция трубопроводов



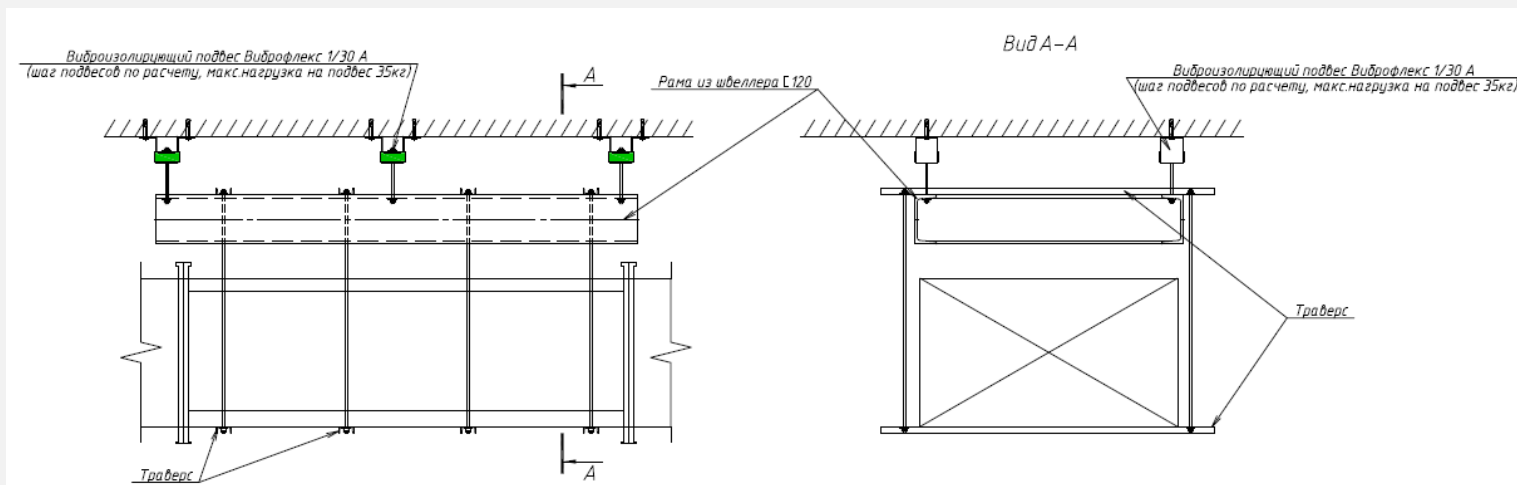
Виброизоляция трубопроводов

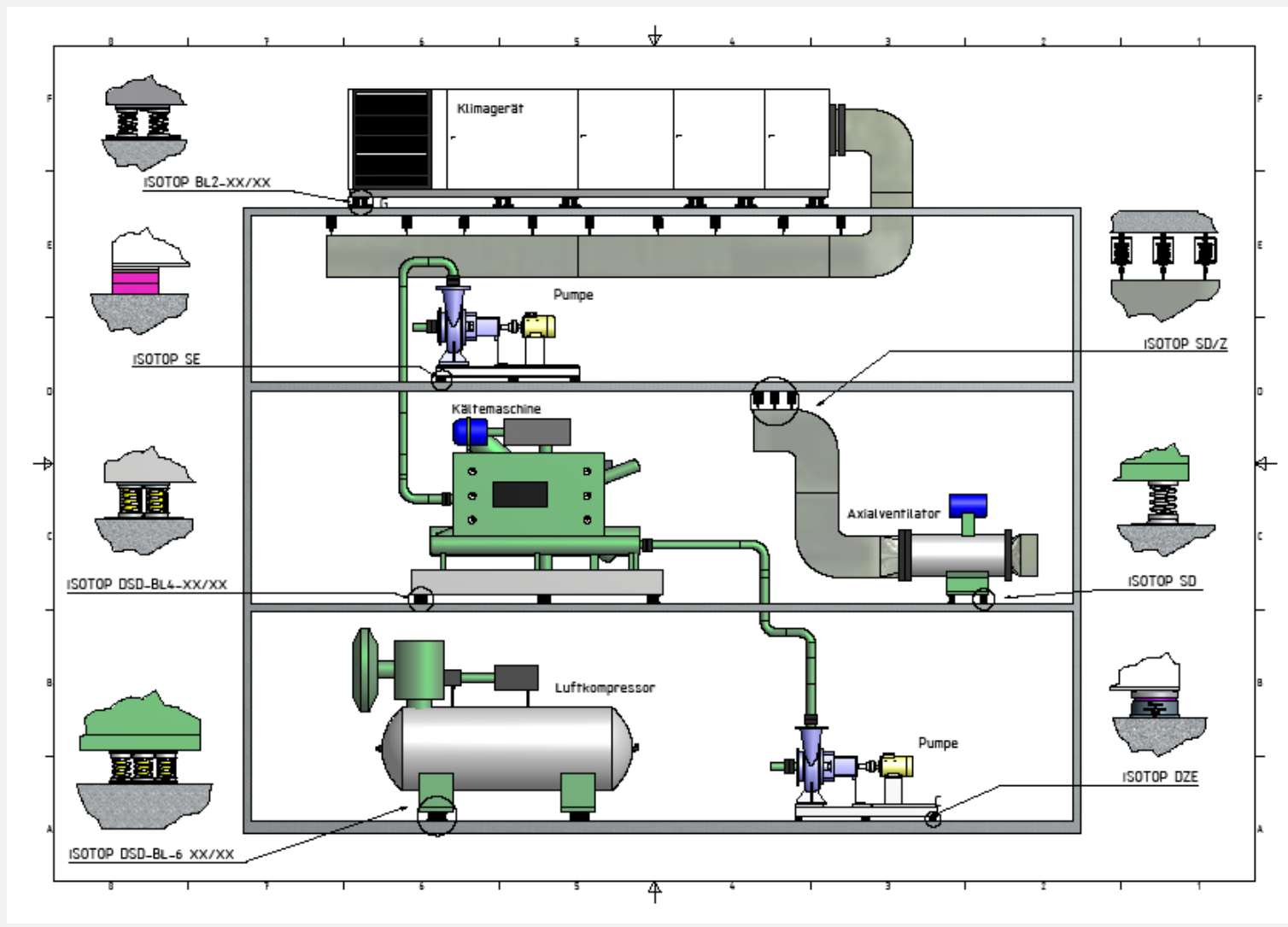


Виброизоляция вентиляционных установок



Виброизоляция вентиляционных установок





Будем рады сотрудничеству с Вами