

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа

Кафедра технологических машин и оборудования нефтегазового комплекса

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

_____ Э. А. Петровский
подпись

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

направление 21.03.01 «Нефтегазовое дело»
профиль 21.03.01.07 «Эксплуатация и обслуживание технологических объектов нефтегазового производства»

«Автоматизация виброопор технологических компрессорных установок»

Руководитель _____ доцент, канд. техн. наук В.В. Бухтояров
подпись, дата _____ должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник _____ **Б.А. Качаева**
подпись, дата

Красноярск 2021

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Автоматизация виброопор технологических компрессорных установок» содержит 75 страниц текстового документа, 32 рисунка, 5 таблиц, 25 использованных источников, 1 лист графического материала.

Объектом разработки является активная виброопора, предназначенная для гашения вибраций технологических трубопроводов подготовки нефти.

Цель выпускной квалификационной работы: разработка системы, позволяющей осуществлять управление без участия человека технологической компрессорной установкой с виброзолирующим оборудованием, с целью повышения эффективности и безопасности производства.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- рассмотреть проблему вибраций на технологических установках;
- рассмотреть характеристики оборудования: компрессорной установки и виброопоры, в том числе определение и области применения, принцип действия, основные положения существующей нормативной литературы, информация по заводам-изготовителям, маркировка, номенклатура, эксплуатационные характеристики.
- составить математическую модель объекта управления.
- разработать схему автоматизации технологического процесса.

Актуальность темы выпускной квалификационной работы заключается в автоматизации компрессорной установки с виброзолирующим оборудованием.

Для выполнения выпускной квалификационной работы использовался текстовый редактор MicrosoftWord, таблицы выполнялись в MicrosoftExcel. Чертежи изготавливались в программе КОМПАС-3D. Расчеты выполнялись с использованием MathLab.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Общие сведения об эксплуатации виброопор технологических установок	6
1.1 Общие сведения о вибрациях	6
1.2 Определение и область применения виброопор	7
1.2.1 Положения нормативной литературы по виброопорам	9
1.2.2 Заводы-изготовители и предприятия-разработчик виброопор технологических установок	11
1.2.3 Маркировка виброопор	14
1.2.4 Эксплуатационные характеристики виброопор	14
1.3 Виброопора в составе общего комплекса; схема состава оборудования..	15
1.3.1 Компрессорные установки	15
1.3.2 Виброопоры в компрессорных установках	18
1.4 Выводы.....	21
2 Описание активной виброопоры	22
2.1 Патентный и информационный обзор виброопор технологических установок.....	22
2.2 Аналогичные конструкции виброопоры.....	31
2.3 Изменения, вносимые в конструкцию виброопоры	33
2.3.1 Выбор материалов.....	39
2.3.2 Значение модернизации	41
2.3.3 Преимущества адаптивного виброгашения	42
2.4 Выводы.....	43
3 Разработка математической модели активной вибропоры и схемы автоматизации технологического процесса	45
3.1 Функциональная схема системы	45
3.2 Математическая модель системы.....	47
3.3 Построение программы для анализа колебаний системы	51
3.3.1 Программа для анализа колебаний при пассивном режиме работы виброзащитной системы.....	51

3.3.2 Программа для анализа колебаний при активном режиме работы виброзащитной системы.....	60
3.4 Ручная подборка параметров регулятора системы.....	67
3.5 Выводы.....	71
Заключение	72
Список используемых источников.....	73

ВВЕДЕНИЕ

Целью выпускной квалификационной работы является разработка системы, позволяющей осуществлять управление без участия человека технологической компрессорной установкой с виброизолирующим оборудованием, с целью повышения эффективности и безопасности производства.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- рассмотреть проблему вибраций на технологических установках;
- рассмотреть характеристики оборудования: компрессорной установки и виброопоры, в том числе определение и области применения, принцип действия, основные положения существующей нормативной литературы, информация по заводам-изготовителям, маркировка, номенклатура, эксплуатационные характеристики.
- составить математическую модель объекта управления.
- разработать схему автоматизации технологического процесса.

Проблема вредного воздействия вибраций технологического оборудования особенно актуальна. В настоящее время статистические данные показывают, что большое количество поломок и аварий при эксплуатации оборудования вызвано повышенной вибрацией механизмов.

Разработка новых магниточувствительных материалов внесло огромный вклад в повышении эффективности технологического оборудования. В результате был создан новый класс магнитоуправляемых жидкостей - магнитореологических. Магнитореологические жидкости способны обратимо изменять вязкость и напряжение сдвига, что определяет их применяемость в технике. Эффект воздействия внешнего магнитного поля сохраняется в широком диапазоне температур, что дает возможность использовать данные жидкости в различных сферах деятельности человека, в том числе и в нефтегазовой отрасли как одно из средств для борьбы с вредным воздействием вибрации.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВИБРООПОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

1.1 Общие сведения о вибрациях

Вибрация распространена во всех отраслях народного хозяйства. Вибрации технологического оборудования, воздействующие на человека, представляют собой комбинированные колебательные процессы, образуемые наложением как периодических колебаний дискретных частот, пропорциональных рабочему числу оборотов или циклов, так и беспорядочных колебаний, возникающих в машинах и инструментах при движении их сочлененных деталей и узлов или в процессе технологических операций, выполняемых их рабочими органами. [1]

В производственных условиях редко наблюдаются простые гармонические колебания. Чаще возникают сложные колебания, которые с помощью гармонического анализа могут быть представлены в виде суммы гармонических колебаний.

К средствам вибрационной техники относятся приборы, аппараты и другие устройства с преднамеренным возбуждением вибрации для выполнения полезных функций. Полезная вибрация может стать вредной при превышении гигиенических нормативов, а также к вредной относится такая вибрация, которая генерируется непреднамеренно: возникает при работе транспортных средств, работе двигателей, турбин и других машин. Вредная вибрация, длительно и систематически действуя в производственных условиях, может: оказывать неблагоприятное действие на организм человека; приводить к нарушению режима работы; способствовать разрушению технических устройств. [2]

Повышение производительности технологического оборудования и механизированного инструмента приводит к увеличению интенсивности вибрации, а широкая механизация ручного труда в сельском хозяйстве, строительстве, горнодобывающей и обрабатывающей отраслях

промышленности обуславливает увеличение численности работающих контингентов, подвергающихся вибрационному воздействию.

Для предупреждения вредного воздействия вибрации на организм работников большое значение имеет установление таких пределов интенсивности длительности воздействия, при которых обеспечивается сохранение здоровья и работоспособности, в связи с этим разработан ряд нормативных документов, регулирующих вредное воздействие.

1.2 Определение и область применения виброопор

Виброопора – это виброзолирующее устройство для отражения или поглощения волн колебательной энергии, распространяющихся от работающего механизма, за счет использования эффекта виброзоляции. Виброопоры устанавливается между телом защищаемым и телом, передающим колебания, и.

Виброзоляция как один из методов виброзащиты технологических машин и оборудования, заключается в уменьшении передачи вибрации от источника возбуждения защищаемому объекту при помощи устройств, помещаемых между ними.

Методы виброзоляции подразделяются на методы пассивной и активной виброзоляции по использованию дополнительного источника энергии.

При активной виброзоляции используются средства с управлением параметрами по динамическим характеристикам источника возбуждения колебаний и объекта виброзащиты.

Для эффективной работы должен быть произведен расчет виброзоляции. Использование виброзолирующих устройств без подкрепления расчетов может привести к увеличению вибрации оборудования.

Виброопоры – это специальные опорные конструкции, которые устанавливаются под оборудование с целью изолировать вибрации различного происхождения, снизить уровень шума, а также поглотить возникшие колебания.

Количество использования виброопор на единицу оборудования зависит от характеристик каждой модели. Например, виброопора ОВ–31 способна

выдержать нагрузку массой от 200 до 4000 кг. Преимущество её применения в том, что для установки не обязательно предварительное устройство фундамента и проведение подготовки оборудования.

Такое оборудование как вентиляторы, компрессоры, насосы для улучшения виброизоляции желательно жестко устанавливать на пригрузочной железобетонной плите или металлической раме, которая, в свою очередь, устанавливается на виброизоляторы.

Виброизоляция состоит в снижении передачи колебаний от источника возбуждения к объекту, который защищается, путем введения в колебательную систему дополнительной упругой связи. Эта связь предотвращает передачу энергии от колеблющегося агрегата к основе или от колебательной основы к человеку или к конструкциям, которые защищаются.

Технические характеристики виброопор позволяют использовать их в различных отраслях экономики – в пищевой промышленности, химической, металлургической, деревоперерабатывающей и др. Виброопоры имеют массу преимуществ в использовании:

- возможность выбора резьбовой шпильки;
- не требуют специального ухода;
- возможность фиксации к полу;
- устойчивы к агрессивной среде;
- долговечны при правильной эксплуатации;
- возможность выбора собственных частот;
- возможность эксплуатации в широком диапазоне статической нагрузки;

Общие требования для демпферных устройств энергетических и промышленных установок:

- способность демпфирования любых видов динамического воздействия (вибрация, удары, сейсмика, и т.д.);
- продолжительный срок службы без ремонта и обслуживания;

- устойчивость к тепловому и радиационному воздействию, агрессивным средам;
- взрывобезопасность и пожаробезопасность;
- незначительная сила реакции, действующая на трубопровод при тепловых расширениях;
- отсутствие запаздывания срабатывания при динамической нагрузке;
- возможность регулирования характеристик;
- низкая стоимость изготовления и эксплуатации.

1.2.1 Положения нормативной литературы по виброопорам

Существует достаточно большой список нормативных документов о виброопорах, шуме и вибрациях. Рассмотрим подробнее некоторые стандарты.

ГОСТ 28362-89 (ИСО 2017-82) Вибрация и удар. Виброизолирующие устройства. Информация, представляемая заказчиками и изготовителями. Стандарт распространяется на виброизолирующие устройства и устанавливает комплекс сведений о подлежащем виброизоляции оборудовании, поддерживающей его конструкции, виброизолирующих устройствах, которые должны быть указаны заказчиком и изготовителем для обеспечения соответствия характеристик виброизолирующих устройств требованиям к виброизоляции. [3]

РТМ 38.001-94 Указания по расчету трубопроводов на прочность и вибрацию. Материал определяет требования к расчету на прочность, а именно порядок, метод расчета и средства защиты трубопровода от вибрации. [4]

ГОСТ 24346-80. Межгосударственный стандарт. Вибрация. Стандарт устанавливает термины и определения понятий вибраций. Включает стандартизованные термины и определения по вибрациям в целом; а также эквиваленты определения на английском языке. [5]

Межгосударственный стандарт ГОСТ 12.1.003-83. Система стандартов безопасности труда. Шум. Настоящий стандарт включает: классификацию;

характеристики и допустимые уровни шума на рабочих местах; защиту от шума; требования к шумовым характеристикам машин. [6]

ГОСТ 16372-93. Машины электрические вращающиеся. Допустимые уровни шума. Стандарт устанавливает максимально допустимые уровни звуковой мощности для вращающихся электрических машин, Измерение уровня звука и расчет уровня звуковой мощности. [7]

ГОСТ 25980-83. Стандарт распространяется на средства виброизоляции и динамического виброгашения, предназначенные для снижения вибрации ручных, стационарных, самоходных и прицепных машин, оборудования, строительных конструкций и уменьшения вредного воздействия вибрации на человека-оператора. Стандарт устанавливает номенклатуру параметров, необходимую для выбора средств защиты и расчета систем вибрационной защиты. Параметры могут быть экспериментальными и расчетными. [8]

ГОСТ 31191.2-2004 (ИСО 2631-2:2003) Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 2. Вибрация внутри зданий. Целью настоящего стандарта является также установление единого порядка сбора данных, относящихся к реакции человека на вибрацию внутри зданий. Настоящий стандарт устанавливает общие требования, относящиеся к измерению и оценке общей вибрации внутри зданий с точки зрения ее влияния на степень комфорта обитателей. Настоящий стандарт не распространяется на оценку воздействия вибрации на конструкцию здания. [9]

ГОСТ ИСО 5348-2002 Вибрация и удар. Механическое крепление акселерометров. Настоящий стандарт устанавливает характеристики крепления акселерометров, которые должен указывать изготовитель, а также дает рекомендации пользователю по установке акселерометров. [10]

ГОСТ Р 53964-2010 Вибрация. Измерения вибрации сооружений. Руководство по проведению измерений. Настоящий стандарт устанавливает руководство по проведению измерений вибрации в зданиях (на грунте вблизи зданий). [11]

ГОСТ Р ИСО 2017-1-2011 Вибрация и удар. Упругие системы крепления.

Часть 1. Технические данные для применения систем виброизоляции. Данный стандарт распространяется на упругие системы крепления, используемые для защиты различных объектов от воздействия вибрации и ударов. Как правило, такие упругие системы являются достаточно универсальными, что позволяет использовать их в разных практических задачах. Однако для эффективного выбора системы виброизоляции, наилучшим образом подходящей для конкретных условий применения, необходимо обладать подробной информацией об источнике и приемнике вибрации (ударов). Стандарт является руководством по обмену технической информацией между заказчиком, изготовителем оборудования и поставщиком систем виброизоляции. Стандарт устанавливает требования по обмену информацией о применении систем виброизоляции между заказчиком, изготовителем продукции, являющейся источником/приемником вибрации, и поставщиком системы виброизоляции. Приемником вибрации может быть машина, конструкция, человек или чувствительное оборудование, а источником - другие машины, движение транспорта и прочие объекты, от которых вибрация передается к приемнику, как правило, через грунт и конструкцию здания. [12]

1.2.2 Заводы-изготовители и предприятия-разработчик виброопор технологических установок

На данный момент в России и за рубежом работает множество предприятий по изготовлению виброизолирующего оборудования.

Одним из крупных является предприятие ООО «ГЕРБ» или GERB Russia. Компания была основана в Санкт-Петербурге в 1991г. С тех пор ООО «ГЕРБ» успешно сотрудничает с производителями машин и оборудования, научно-исследовательскими и проектными институтами, инженерами, консультантами и другими партнерами в области современных решений для снижения вибраций, защиты от сейсмических воздействий, решения проблем осадки грунтов. Компания является дочерней организацией фирмы GERB (Германия),

основанной в 1908г. в Берлине. С более чем 100-летним опытом работы по всему миру, представляет наиболее оптимальные решения в области снижения вибраций.

При сотрудничестве с проектными и исследовательскими институтами, строительными и инженерными компаниями, а также производителями оборудования компания GERB предлагает своим Заказчикам системные решения для защиты от вибраций.

GERB предлагает вискодемпфераы для трубопроводов, которые обеспечивают безопасную и надежную эксплуатацию и характеризуются целым рядом преимуществ.

Демпферы для трубопроводов GERB:

- компенсируют одновременно рабочие перемещения и ударные нагрузки
- эффективны во всех трех пространственных направлениях
- реагируют пропорционально скорости воздействия, т.е. создают большее сопротивление при ударных нагрузках и меньшее при рабочих перемещениях, например, при тепловом расширении
- реагируют без запаздывания или временной задержки
- не содержат изнашивающихся деталей
- не требуют технического обслуживания и имеют практически неограниченный срок службы
- могут быть учтены уже на стадии проектирования с применением современных САПР (например, дріре).

Другой известной фирмой является Hutchinson Stop-Choc GmbH & Co.KG. Компания с 1958 года является разработчиком и производителем виброизоляционной продукции и специализируется на производстве цельнометаллических демпферов, амортизаторов, виброизоляторов. Рабочим телом виброизоляционных элементов является цельнометаллическая подушка из CrNi стальной арматурной проволоки, она же определяет основные свойства и характеристики продукции:

- высокая виброизоляционная способность;
- демпфирование до 20%;
- низкий коэффициент усиления на резонансе 3,3-2,5;
- практически неограниченный срок службы;
- постоянство жёсткости на протяжении всего срока службы;
- отсутствие остаточной деформации, постоянство внешних форм;
- устойчивость к агрессивным средам;
- температура применения от -90°C до +400°C;
- способность переносить динамические нагрузки - в 5-10 раз превышающие статические;
- устойчивость к радиоактивному излучению.

Вниманию покупателей предлагается широкий выбор демпферов и виброизоляторов с различной резонансной частотой, как малогабаритные - для электронного, навигационного оборудования, так и крупногабаритные - для различных областей применения, имеющие широкий диапазон статической нагрузки и большой выбор варианта монтажа.

Французское предприятие Paulstra Vibrachoc является европейским лидером в области виброизоляции, акустики и динамического уплотнения, год основания 1934. Антивибрационные системы PAULSTRA® предназначены для всех секторов промышленности и подходят для всех типов вибраций.

Ассортимент продукции PAULSTRA VIBRACHOC предлагает технические средства решения проблем, связанных с шумом, вибрацией, уплотнением, перекосом валов и неравномерностью кручущего момента.

Также одним из лидеров по производству виброизолирующего оборудования является компания Hutchinson Aerospace & Industry, Inc. Компания была основана в 1943 году для решения проблем с ударными нагрузками и вибрацией для вооруженных сил США. С тех пор Hutchinson является мировым лидером в разработке уникальных и нестандартных решений для систем крепления амортизаторов и виброизоляции.

1.2.3 Маркировка виброопор

В настоящее время виброопоры имеют множество различных типов, поэтому у них нет общего стандарта маркировки. Каждый производитель по характеристикам изготавливаемой продукции маркирует тем или иным образом. Например, виброопоры от компании «Hutchinson Stop-Choc GmbH & Co.KG» серии ЕС. Буквы в начале, как правило, обозначают принадлежность модели данному типу виброопор. Далее следуют группы чисел. Первые цифры обозначают диаметр виброопоры, второе число – это высота резиновой прослойки.

Например, в названии модели ЕС 3025 зашифрована следующая информация:

ЕС – виброопоры на основе натурального каучука;

30 – диаметр виброопоры;

25 – высота резиновой прослойки.

А маркировка виброопоры от компании «Hutchinson Aerospace & Industry, Inc.» серии V43, на примере V43 H S2 выглядит следующим образом:

Н – с регулировкой высоты, все опоры с Н имеют собственную частоту 25-30 Гц;

S2 - жёсткие опоры с собственной частотой 35-40 Гц.

Таким образом, в зависимости от завода изготовителя (компании) маркировка виброопор отличается.

1.2.4 Эксплуатационные характеристики виброопор

Самые распространенные из виброопор — виброопора ОВ-31 и ОВ-70, виброопора резинометаллическая. Виброопоры ОВ-70 и ОВ-31 применяются на всех промышленных предприятиях и имеют достаточно невысокую стоимость. Виброопора ОВ-31, ОВ-70 используется в качестве активной и пассивной виброзоляции металлорежущих станков и прочего промышленного оборудования. Рассмотрим их характеристики в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики виброопор ОВ-31 и ОВ-70

Характеристика	ОВ-31	ОВ-70
Нагрузка	250-4500, кг или 45, кН	50-500, кг или 5, кН
Диапазон регулирования	15+2, мм	6+2, мм
Масса	1,6, кг	0,4, кг
Диаметр резьбы	M16	M12

Далее проведем сравнительный анализ эксплуатационных характеристик разных виброопор, отразим результаты в таблице 2.

Таблица 2 – Эксплуатационные характеристики виброопор

Наименование вибропоры	Собственная частота, Гц	Статистическая нагрузка, кН	Направление нагрузки
V43	15-40	0,5-45	осевая
SP 855	3-4	4-35	осевая
ОВ-31	10-20	0,25-45	осевая

1.3 Виброопора в составе общего комплекса; схема состава оборудования.

1.3.1 Компрессорные установки

Компрессорная техника и пневматика являются необходимыми агрегатами в нефтегазовой промышленности. Данные конструкции состоят из компрессора, привода и дополнительных механизмов.

Как правило, компрессорную технику классифицируют по таким параметрам, как принцип работы, назначение, особенности строения, производительность.

В силу повышенных нагрузок и сложных условий эксплуатации, в сфере нефте- и газодобычи используют наиболее мощное и высококачественное пневматическое оборудование, компрессоры высокого давления (с рабочим давлением 10-100 МПа) с улучшенными дополнительными характеристиками.

Компрессоры нефтегазовой промышленности выполняют следующий функционал:

- являются главным добывочным оборудованием;
- обеспечивают сжатым воздухом пневмосистемы, таких механизмов, как: грузоподъемные машины, буровые установки, станции по откачке нефтяных газов;
- отвечают за транспортировку газа в установках, ответственных за переработку газа и нефти;
- выполняют транспортировочные функции, перегоняя газ по магистральным трубопроводам;
- закачивают газ в подземные хранилища;
- закачивают газ в нефтяные пласты с целью регуляции давления;
- выполняют операцию опрессовки трубопроводов, емкостей для хранения газа и нефти;
- выступают главной силой при освоении новых месторождений;

Особенности работы агрегатов высокого давления

- процесс сжатия воздуха выполняется за счет движения поршня;
- во избежание возгорания смазочного материала, в такого рода оборудовании применяется воздушное/водяное охлаждение;
- диапазон производительности: от 0,5 до 1,65 кубических метров воздуха в минуту;
- производительность регулируется автоматически;
- простой ремонт и обслуживание;
- работа с загрязненным воздухом в условиях резких температурных перепадов.

Компрессоры применяются также для откачки нефтяных газов, содержание которых в воздухе в пределах 1-18% способно спровоцировать взрыв, поэтому особое внимание уделяется технике безопасности.

Техника безопасности при компрессорной эксплуатации содержит несколько важных обстоятельств, которых необходимо строго придерживаться:

- требуется изолировать провода, применять блокирующие элементы и механизмы, использовать защитные средства и заземления.
- перед введением в эксплуатацию устройств нужно убедиться в их исправности.
- необходимо установить предохранители или автоматические выключатели. это нужно для избегания межфазных замыканий.
- ремонтные, наладочные и монтажные работы должны проводиться при полном снятии напряжения и при использовании защитных средств.
- необходимо придерживаться правил пожарной безопасности при применении компрессорных устройств. а также во время оборудования помещений для них.
- на каждом предприятии должны быть необходимые меры защиты: предохранители, огнетушители и тому подобное.
- также нужно обеспечить индивидуальную защиту персонала предприятия.

При этом для каждого агрегата разрабатывается своя индивидуальная инструкция по эксплуатации и применение оборудования не в рамках этой инструкции недопустимо.

Компрессоры должны быть снабжены исправными арматурой, КИПиА, системами защиты и блокировками согласно паспорту завода-изготовителя и требованиям проектной документации, с учетом свойств перемещаемых продуктов.

Подача газа на прием компрессора должна осуществляться через отделители жидкости (сепараторы), оборудованные световой и звуковой сигнализацией, а также блокировкой, производящей остановку компрессора при достижении предельно допустимого уровня жидкости в сепараторе. Помещение компрессорной станции должно иметь постоянно действующую систему

приточно-вытяжной вентиляции, а также систему аварийной вентиляции, блокированную с приборами контроля состояния воздушной среды. [13]

1.3.2 Виброопоры в компрессорных установках

Рассмотрим подробнее компрессорную установку СБ4/Ф-270.LT100В (рис. 1). Компрессор предназначен для выработки сжатого воздуха, используемого для питания пневматического оборудования, аппаратуры, инструмента, применяемого в промышленности, автосервисе и для других целей потребителя.

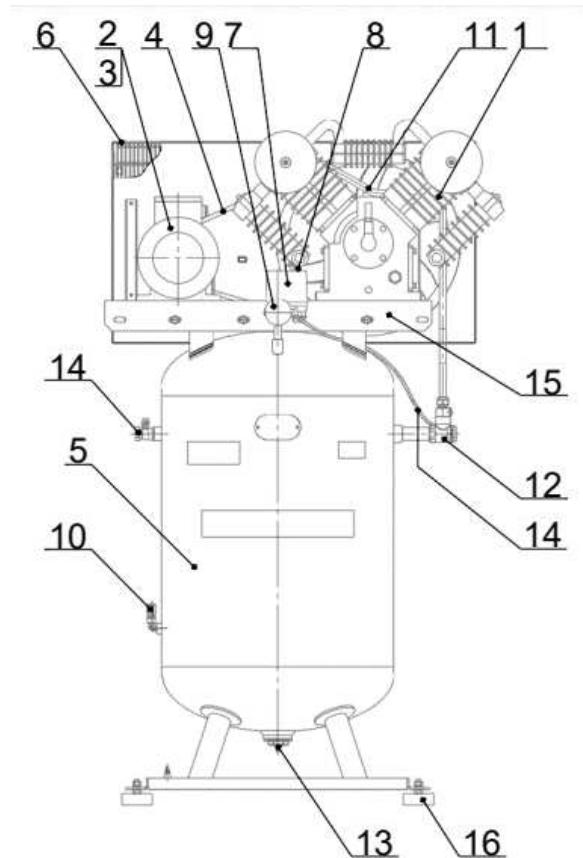


Рисунок 1 - Общий вид компрессора

1 - блок поршневой, 2 – электродвигатель, 3 – шкив, 4 – ремень, 5 – ресивер, 6 - защитное ограждение, 7 – прессостат, 8 – выключатель, 9 – манометр, 10 - клапан предохранительный, 11 – воздухопровод. 12 - клапан обратный, 13 – конденсатоотводчик, 14 – кран, 15 – платформа, 16 – виброопоры

Компрессор спроектирован и изготовлен в соответствии с общими требованиями и нормами безопасности к данному виду оборудования, установленными в действующих технических нормативных правовых актах.

Режим работы компрессора повторно-кратковременный, с продолжительностью включения (ПВ) до 60%, при продолжительности одного цикла от 6 до 10 мин. Допускается непрерывная работа компрессора не более 15 мин, но не чаще одного раза в течение 2-х часов. Питание компрессора осуществляется от сети переменного тока. Регулирование производительности после пуска компрессора – автоматическое. Способ регулирования – периодический пуск-останов компрессора. Основные технические характеристики компрессора приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Основные технические характеристики компрессора СБ4/Ф-270.LT100B

Наименование показателя	Значение показателя
Количество ступеней сжатия	2
Число цилиндров компрессора	4
Заправочный объем масла, л	2.0
Расход масла, г/м3	0.3
Производительность по всасыванию, л/мин (м3 /ч)	1400 (84)
Максимальное давление, МПа (бар)	1.0 (10)
Номинальная частота вращения вала компрессора, мин-1	770
Вместимость ресивера, л	500
Ремень В2000, шт.	2
Номинальная мощность, кВт	7.5
Присоединительный элемент	Кран шаровой G3/4
Длина, мм, не более	1055
Ширина, мм, не более	621
Высота, мм, не более	1820
Масса НЕТТО, кг, не более	286
Средний ресурс до капитального ремонта, ч	7500

Компрессор снабжен следующими устройствами контроля, управления и защиты:

- манометром для контроля давления сжатого воздуха в ресивере;
- прессостатом – исполнительным устройством для регулирования производительности периодическим пуском-остановом компрессора;
- клапаном разгрузочным – устройством разгрузки блока поршневого при остановке приводного двигателя;
- предохранительным клапаном – устройством защиты от превышения максимального допустимого давления в ресивере;
- устройством защиты от перегрузок электрооборудования, короткого замыкания или обрыва одной из фаз питающей электрической сети. Устройство защиты установлено в прессостате;
- указателем уровня масла (смотровым стеклом).

Для обеспечения долговечной и надежной работы компрессора выполняются следующие операции по его техническому обслуживанию в соответствии с таблицей 4.

Таблица 4 – Операции по техническому обслуживанию компрессора

Периодичность обслуживания	Операции по обслуживанию
Ежедневно	Контроль и корректировка уровня масла, наружный осмотр компрессора, проверка плотности соединения воздухопроводов, слив конденсата из ресивера, очистка компрессора от пыли и загрязнений
После первых 8-ми часов работы	Проверка момента затяжки болтов головок цилиндра поршневого блока
После первых 50 часов работы	Проверка момента затяжки болтов головок цилиндра поршневого блока, проверка натяжений ремней
После первых 100 часов работы	Замена масла
Через каждые 100 часов работы или раз в месяц	Проверка всасывающего воздушного фильтра

1.4 Выводы

Вибрация распространена во всех отраслях народного хозяйства. Полезная вибрация может стать вредной при превышении гигиенических нормативов. Регулирование гигиенических нормативом происходит с помощью различных нормативных документов.

Виброизоляция является одним из методов виброзащиты технологического оборудования. Виброизоляция заключается в уменьшении передачи вибрации от источника возбуждения защищаемому объекту при помощи устройств, помещаемых между ними. В качестве виброизоляции могут применяться виброопоры.

Так как компрессорная техника и пневматика являются необходимыми агрегатами в нефтегазовой промышленности, и зачастую на нефтегазовых производствах применяется наиболее мощное пневматическое оборудование и компрессоры высокого давления, то применение виброизолирующих устройств является неотъемлемой частью подобных установок с целью сохранения рабочих характеристик, надежности и безопасности производства в целом.

2 ОПИСАНИЕ АКТИВНОЙ ВИБРООПОРЫ

2.1 Патентный и информационный обзор виброопор технологических установок

Проведем обзор виброопор, запатентованных за рубежом.

Гидравлическая виброопора (Пат. US 4650168) (рис. 2) относится к упругим виброопорам с гидравлическим демпфированием, особенно для моторных транспортных средств [14].

В случае высоких нагрузок, таких как нагрузки, возникающие в транспортных средствах с передним приводом из-за очень высоких крутящих моментов, остановка этого типа может быть недостаточной. Это связано с тем, что хотя все силы растяжения передаются на стенку камеры, которая действует как опорная пружина, этот резиновый корпус должен поглощать все растягивающие нагрузки, которые применяются сами по себе.

В соответствии с этим задачей настоящего изобретения является создание упругой подвески двигателя с гидравлическим демпфером, который преодолевает упомянутые недостатки и обеспечивает эффективную предельную остановку без опасности верхней пластины подшипника будучи сорванным, даже при возникновении внезапных напряженных нагрузок.

Преимущество изобретения заключается в следующем. Остановка натяжения и сжатия выполнена таким образом, что она может одновременно получать мембрану для акустической регулировки и может сделать возможным возможность влажных радиальных колебаний из-за возможного радиального поперечного потока.

Изобретение – гидравлически затухающая опора двигателя или опора двигателя, имеющая рабочую камеру 1, закрытую в ее верхней части конической оболочкой из эластомерной стенки 2, и опорную плиту 3 с соединительным болтом или штифтом 4. Рабочая камера сообщается с компенсационной камерой 7 через кольцевой канал 5, образованный в промежуточной пластине 6. Компенсирующая камера 7 закрыта упругим сильфоном 8. Подшипниковая

пластина 3 предусмотрена на ее внутренней поверхности выступающим цилиндрическим кольцом 10 в виде ограничителя натяжения и сжатия, который выступает в рабочую камеру 1. Кольцо 10 имеет радиально наружу проходящую кромку или ободок 11. Приблизительно коническую форму раковины или чашеобразную стопорное кольцо 13 расположено концентрично с кольцом 10, так что внутренняя кромка 14 упорного кольца 13 достигает позади верхней поверхности радиального обода 11 кольца 10. Наружный край стопорное кольцо 13 прижимаются к промежуточной пластине 6 наружного корпусом 16, в некоторых случаях с посредством разделительного кольца 15. При наступлении внезапного растягивающей нагрузки и пружинной реакции опоры двигателя, верхнюю поверхность обода 11 кольца 10 или резинового слоя 12 ударов против упорного кольца 13, таким образом, что жесткое механическое ограничение путешествия обеспечивается для движение в направлении натяжения. При этом происходит стоп-кольцо. Чтобы обеспечить свободный проход жидкости из указанного выше упорного кольца 13 пространства в реальную работу камеры 1, то стопорное кольцо 13 снабжено дополнительными отверстиями 17. Поэтому внутреннее пространство кольца 10 на стороне опорной плиты может быть закрыто с помощью резиновой эластичной мембранны 21, который в это же время охватывает соответствующую воздушную подушку 20, который выступает в качестве закалочной массы при более высоких частотах при меньших амплитудах. Можно видеть, что радиально внешняя область резиновой мембранны 21 является неотъемлемой частью резинового слоя 12.

Вышеописанная конструкция крепления двигателя гарантирует, что даже высокие и неожиданные растяжки могут быть надежно поглощены, без ущерба для двигателя.

Основным недостатком является то, что мембранны могут быстро приходить в негодность, что потребует их замены, если вовремя не устраниТЬ неполадку возможно разрушение конструкции. При этом виброизолятор позволяет гасить мгновенные большие колебания без ущерба для конструкции.

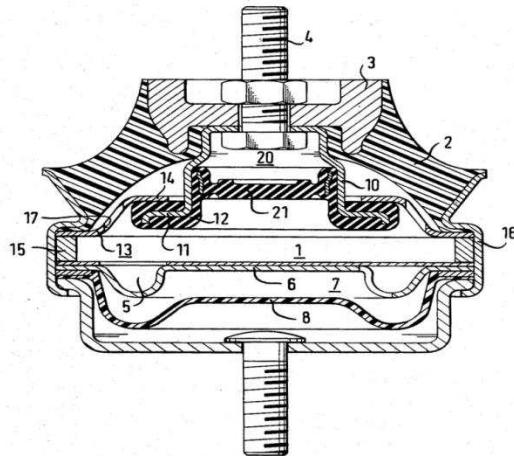


Рисунок 2 – Виброопора с гидравлическим демпфированием.

1 – рабочая камера; 2 – стенка; 3 – плита; 4 – штифт; 5 – кольцевой канал; 6 – промежуточная пластина; 7 – компенсационная камера; 8 – сильфон; 10 – кольцо; 11 – обод; 12 – резиновый слой; 13 – стопорное кольцо; 14 – кромка; 15 – разделительное кольцо; 16 – наружный корпус; 17 – отверстие; 20 – воздушная подушка; 21 – мембрана

Электромагнитный амортизатор (Пат. US 8127900) (рис. 3), включающий: лонжерон колеса; элемент на стороне тела, подвижный относительно элемента на стороне колеса, и генератор демпфирующей силы с электромагнитным двигателем, включающий в себя неподвижные и подвижные элементы, подвижные относительно друг друга. Генератор демпфирующей силы может генерировать на основе силы, генерируемой двигателем, демпфирующую силу, действующую против относительного перемещения элемента со стороны колеса и элемента со стороны кузова. Двигатель имеет ось, проходящую в направлении относительного движения обоих элементов в качестве направления вышеописанного относительного движения. Неподвижный элемент поддерживается элементом со стороны колеса через упругое тело, чтобы быть подвижным относительно элемента со стороны колеса в направлении относительного перемещения обоих элементов. Электромагнитный двигатель обеспечивает относительное движение неподвижного элемента и подвижного

элемента при перемещении неподвижного элемента относительно элемента со стороны колеса [15].

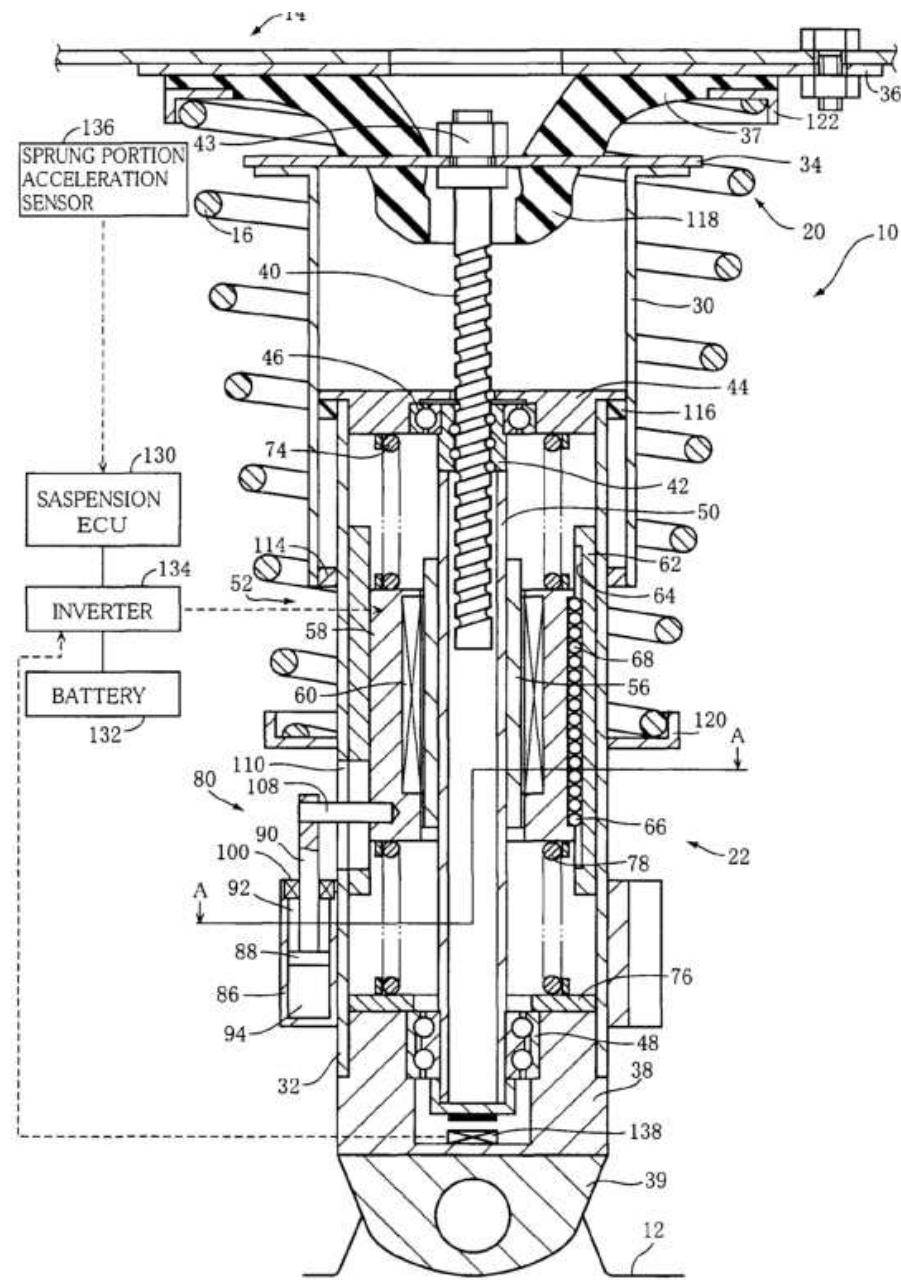


Рисунок 3 – Электромагнитный амортизатор

Изобретение относится в целом к амортизатору, который составляет систему подвески транспортного средства, а более конкретно к электромагнитному амортизатору, имеющему электромагнитный двигатель и способному генерировать демпфирующую силу, основанную на силе электромагнитного двигателя.

В общем, электромагнитный поглотитель сконструирован таким образом, что электромагнитный двигатель получает различные вибрации, и желательно максимально уменьшить вибрации, которые действуют на электромагнитный двигатель, например, с точки зрения долговечности электромагнитного двигателя. В электромагнитном поглотителе, раскрытом в указанном выше патентном документе, хотя электромагнитный двигатель сам по себе поддерживается упругим образом, а именно, хотя имеется устройство для ослабления вибраций, действующих на двигатель. Такое устройство подавления вибраций недостаточно удовлетворительно.

Вышеописанная проблема, связанная с вибрациями, действующими на электромагнитный двигатель, является лишь одной из проблем, возникающих в электромагнитном поглотителе. Электромагнитный поглотитель имеет не только вышеописанную проблему, но также различные проблемы, которые аналогичны или отличаются от вышеописанной проблемы, так что удобство использования электромагнитного поглотителя может быть увеличено путем решения любой из различных проблем. То есть в обычном электромагнитном поглотителе все еще есть возможности для улучшения удобства использования. Настоящее изобретение было сделано в свете предшествующего уровня техники, и целью изобретения является создание электромагнитного амортизатора, обладающего высокой практичностью.

Для достижения вышеупомянутой цели автомобильный электромагнитный амортизатор по настоящему изобретению имеет электромагнитный двигатель, который поддерживается одним из элемента со стороны колеса и элемента со стороны кузова и способен генерировать на основе силы, создаваемой электромагнитным двигателем – демпфирующая сила, действующая против относительного движения между элементом со стороны колеса и элементом со стороны кузова. Электромагнитный амортизатор по настоящему изобретению отличается тем, что допускается относительное движение неподвижного элемента и подвижного элемента двигателя, а

неподвижный элемент упруго поддерживается одним из элемента со стороны колеса и со стороны кузова.

В электромагнитном амортизаторе по настоящему изобретению относительные вибрации кузова транспортного средства и колеса удерживаются от передачи на двигатель вследствие компоновки, в которой электромагнитный двигатель упруго поддерживается на неподвижном элементе, а двигатель удерживается от подверженности влиянию передаваемых относительных вибраций благодаря расположению, в котором допускается относительное перемещение неподвижного элемента и подвижного элемента. Таким образом, в электромагнитном амортизаторе по настоящему изобретению двигатель достаточно защищен от вибраций. В этом смысле электромагнитный амортизатор по настоящему изобретению имеет высокую практичность при практическом использовании. Преимуществом изобретения является плавность его работы.

Можно выделить следующие недостатки изобретения:

- необходим кожух для экранирования магнитного поля, если рядом будут установлены какие-либо электронные устройства т.к. электромагнитный амортизатор имеет множество магнитов, а они создают магнитное поле.

- необходим электрический ток для работы амортизатора.

Амортизатор не вырабатывает электрический ток. Нужно отводить тепло.

Активное виброизолирующее опорное устройство US9592726 (рис. 4) уменьшает вибрацию, передаваемую от поршневого двигателя. Устройство поддерживает двигатель с помощью виброизолирующих опорных узлов, каждый из которых включает в себя привод. Виброизолирующие узлы расположены на противоположных сторонах коленчатого вала двигателя. Устройство включает в себя блок управления для периодического расширения и сжатия привода в зависимости от вибрационного состояния двигателя, чтобы уменьшить передачу вибраций двигателя на кузов транспортного средства. Блок управления приводит в действие привод одного из виброизолирующих опорных узлов для сжатия, причем один из виброизолирующих опорных узлов сжимается вибрацией валка,

связанной с первоначальным взрывом через некоторое время после запуска двигателя, чтобы уменьшить передачу вибрации валка в направлении, обратном направлению вращения коленчатого вала. [16]

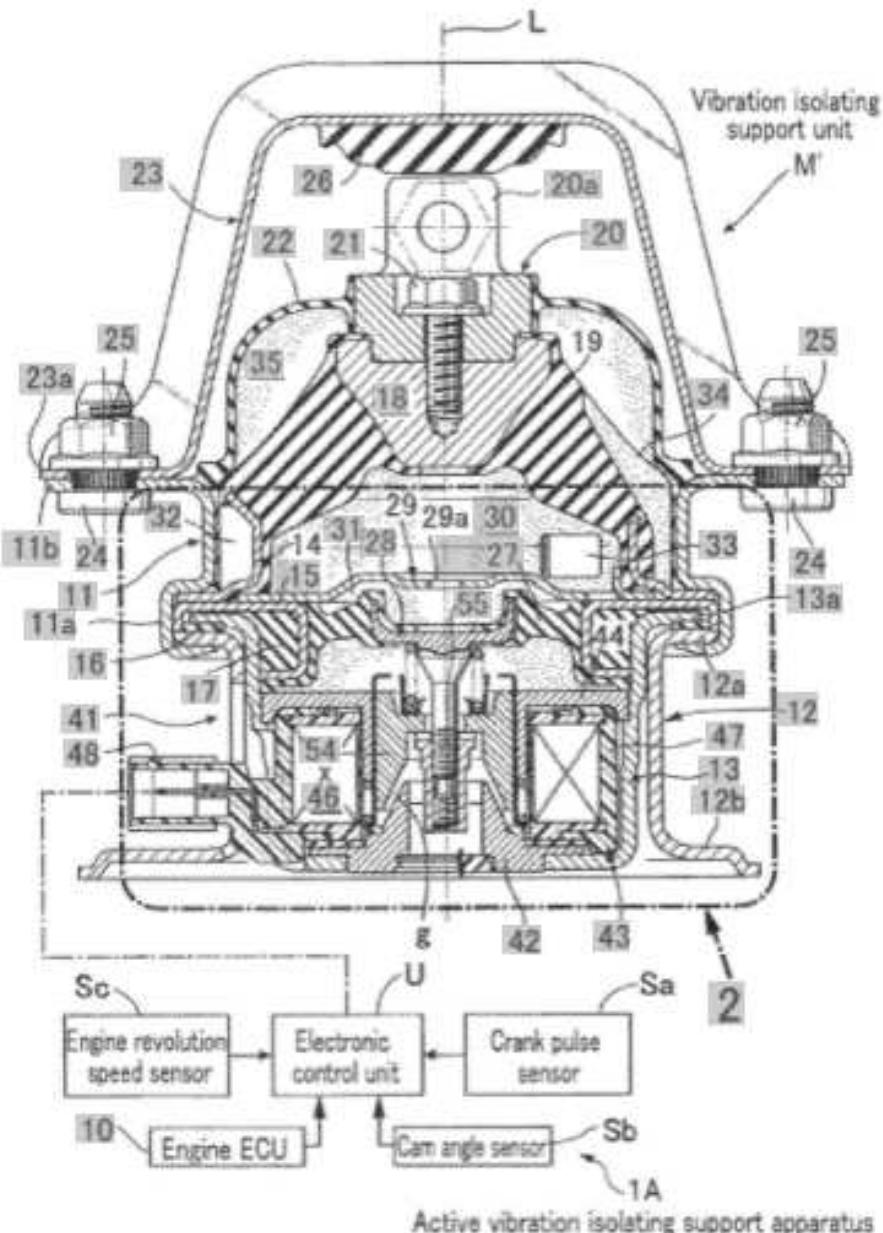


Рисунок 4 – Установка активного виброизолирующего опорного устройства в двигатель транспортного средства

Настоящее изобретение относится к активному виброизолирующему опорному устройству для упругой поддержки двигателя в кузове транспортного средства и способу управления им.

Для достижения вышеуказанной цели предусмотрено активное виброизолирующее опорное устройство для уменьшения вибрации, передаваемой от двигателя, включающее: виброизолирующие опорные узлы для упругой поддержки двигателя в кузове транспортного средства, каждый из которых включает в себя исполнительный механизм; и блок управления для оценки вибрационного состояния на основе выхода датчика для обнаружения изменения скорости вращения двигателя.; в котором блок управления приводит в действие исполнительный механизм для расширения и сжатия, чтобы уменьшить передачу вибрации, и в котором блок управления определяет обнаружение начального взрыва в двигателе и приводит в действие исполнительный механизм виброизолирующего опорного блока для расширения и сжатия с заданной частотой, если расчетная скорость изменения скорости вращения двигателя на основе выходных данных датчика больше или равна заданному значению после времени запуска двигателя.

Если скорость изменения скорости вращения двигателя больше или равна заданному значению, блок управления определяет обнаружение начального взрыва в двигателе и быстро уменьшает передачу вибрации на кузов транспортного средства.

Также в изобретении возвратно-поступательное движение поршня преобразуется во вращательное движение коленчатого вала в двигателе, и блок управления управляет приводом виброизолирующего опорного узла, чтобы уменьшить передачу вибрации двигателя в направлении, обратном направлению вращения коленчатого вала двигателя.

Двигатель транспортного средства сконфигурирован таким образом, что частота вибрации, вызванной низкой скоростью вращения двигателя во время запуска двигателя, равна собственной частоте вибрации. Следовательно, вибрация, генерируемая на собственной частоте вибрации после первоначального взрыва, проявляет переходную вибрацию, генерируемую во время запуска двигателя.

В активном виброизолирующем опорном устройстве для снижения вибрации, передаваемой от двигателя, в котором возвратно-поступательное движение поршня преобразуется во вращательное движение коленчатого вала, поддерживается через виброизолирующие опорные узлы в кузове транспортного средства, каждый из которых включает в себя исполнительный механизм, активное виброизолирующее опорное устройство включает в себя: блок управления, позволяющий исполнительному механизму периодически расширяться и сжиматься в зависимости от вибрационного состояния двигателя., тем самым уменьшая передачу вибрации двигателя на кузов транспортного средства, при этом блок управления управляет приводом виброизолирующего опорного узла таким образом, чтобы уменьшить передачу вибрации двигателя при качении в направлении, обратном направлению вращения коленчатого вала двигателя, если определено, что первоначальный взрыв будет обнаружен через некоторое время после запуска двигателя.

В результате проведённого патентного анализа касательно виброизолирующего оборудования можно сделать вывод, что все конструкции направлены на повышение эффективности работы оборудования и решение возникающих проблем в уже используемом оборудовании. Наиболее распространенные проблемы связаны с высокой стоимостью эксплуатации и производства опор. А также с проблемами, связанными с малой эффективностью работы. Несмотря на то, что каждая рассматриваемая конструкция решала определенную проблему и являлась, по сути, модернизацией уже известного оборудования, возникали другие сложности с эксплуатацией данных виброизолирующих и вибродемпфирующих устройств. Так, часто встречающимся недостатком является материал, выбранный для сферических упругодемпфирующих элементов, который не демонстрирует нужные характеристики при перепаде температур. Также большинство опор имеют большое количество датчиков, выход из строя которых, остановит всю систему. Еще одним общим недостатком является использование дополнительного оборудования, что существенно увеличит стоимость использования данных

конструкций. При этом, изменения, вносимые в оборудования, достаточно ценны, что дает возможность их использования непосредственно на производстве.

2.2 Аналогичные конструкции виброопоры

Конструкция виброизоляторов в виде упругодемпфирующих опор нашла свое применение для различных технологических установок в разных сферах производства. Основным преимуществом от других виброзащитных систем является простота конструкции и изготовления.

Основной для создания исследуемой виброопоры послужила активная виброопора для технологических трубопроводов подготовки нефти (Пат. RU 181210) (рис. 5). Такая виброопора может быть использована совместно с разнообразным технологическим оборудованием и предназначена для их виброзащиты. [17]

В корпусе размещены направляющие трубы с расположенными в них в виде вертикального ряда вставными сферическими упругодемпфирующими элементами, контактирующими со сменными толкателями, поджатие которых осуществляется нижней гайкой.

Значительная часть энергии идет на работу сил упругости и сил трения, как в материале упругих элементов, так и на трение между самими элементами, а также трения сферических элементов о поверхность направляющей трубы. При этом эти силы в n раз больше, где n – количество рядов сферических элементов, по сравнению с установкой одного ряда шаров, чем объясняется эффективность виброгашения.

Другой отличительной особенностью виброопоры является наличие сменных толкателей. За счет возможности изменения длины сменных толкателей, а также количества и диаметра упругодемпфирующих элементов, можно изменять начальное поджатие сферических упругодемпфирующих элементов. Регулировка амплитудно–частотной характеристики виброопоры осуществляется также за счет изменения величины предварительного поджатия

упругих элементов 9 и 13 при помощи гайки 5, тем самым реализована возможность регулятора жесткости виброопоры, что позволяет осуществить гашение широкого спектра колебаний.

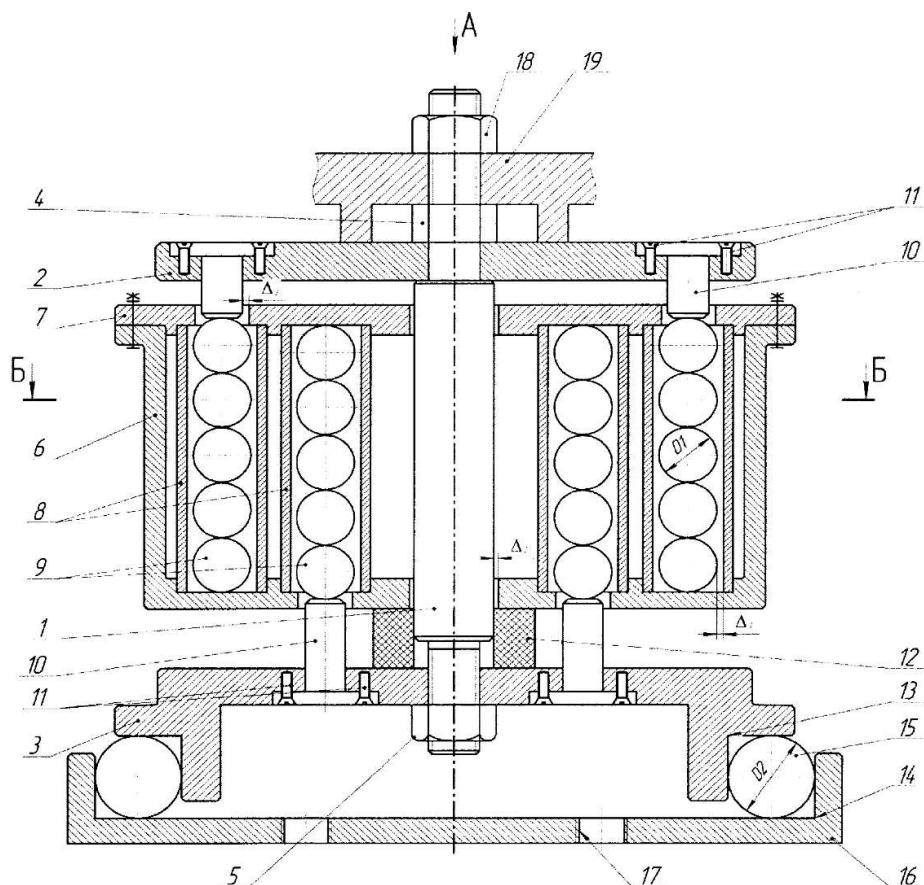


Рисунок 5 – Виброопора со сферическими упругодемпфирующими элементами
 1 – стержень; 2 – верхнее основание; 3 – нижнее основание; 4 – гайка верхнего основания; 5 – гайка нижнего основания; 6 – корпус; 7 – крышка; 8 – трубы; 9 – упругодемпфирующие элементы сферической формы; 10 – толкатели; 11 – винт; 12 – цилиндрический элемент; 13, 14 – пазы в виде прямых углов; 15 – диаметр; 16 – тарелка; 17 – отверстия тарелки; 18 – гайка; 19 – виброизолируемый объект

Упругодемпфирующие элементы сферической формы 15 могут быть выполнены из резины с такой твердостью, которая реализует необходимую для данных элементов осадку, обеспечивая максимальную степень виброзоляции в осевом и радиальном направлениях.

Основным недостатком данной виброопоры является то, что упругодемпфирующие элементы сферической формы изготавливаются из резины, резина меняет свою жесткость при различных температурах, поэтому упругодемпфирующие элементы нужно менять весной на более жесткие, а осенью на более мягкие, чтобы виброопора была максимально полезна.

При этом можно выделить следующие преимущества:

- возможна замена упругодемпфирующих элементов сферической формы на другие с разной твердостью;
- регулирование параметров виброгашения в широком диапазоне;
- виброзоляции в осевом и радиальном направлениях.

2.3 Изменения, вносимые в конструкцию виброопоры

Анализируя конструкцию виброзоляторов можно прийти к заключению, что демпфирование в конструкции виброгасителя должно происходить не только за счет рассеяния энергии в упругодемпфирующем материале и за счет граничного трения упругодемпфирующих элементов о корпусные детали, но и за счет работы магнитожидкостного амортизатора.

Магнитожидкостный амортизатор работает следующим образом. При действии удара перемещение фиксирует датчик движения – оптический датчик, закрепленный на верхней тарелке и неподвижной боковой стенке, информация с датчика поступает на управляющее устройство. При действии удара шток с поршнем и установленными на нем обмотками начинает перемещаться вниз. Одновременно поднимается давление рабочей жидкости в нижней части гидравлической полости. За счет разности давлений в верхней и нижней частях гидравлической полости начинается движение магнитной жидкости из нижней части с более высоким давлением в верхнюю часть гидравлической полости по каналам, вдоль обмоток. По заданной программе управляющим устройством запитываются обмотки, закрепленных внутри поршня. Обмотки запитываются электрической энергией, накопленной в аккумуляторной батарее. Выходной сигнал оптического датчика через управляющее устройство регулирует силу

тока электромагнита. Оптический датчик вырабатывает электрический сигнал, пропорциональный скорости перемещения поршня. При этом положительный потенциал образуется в результате движения поршня вниз. Электрический сигнал с оптического датчика поступает в управляющее устройство. Положительный потенциал служит командой управляющему устройству по изменению тока в обмотке.

Конструкционным демпфирование называют влияние энергетических потерь, возникающих вследствие действия сил сухого трения на контактных поверхностях. Как правило конструкционное демпфирование значительно превосходит демпфирование, создаваемое действием внутреннего трения в материале элемента.

О проблеме создания упруго-демпфирующих систем на принципах конструкционного демпфирования известно следующее:

- демпфирование (рассеяние энергии) возможно только в многослойных средах (минимально – в двухслойных), когда есть хотя бы одна пара трения;
- сила трения (в паре трения) зависит от нормального давления, коэффициента трения и величины предварительного смещения;
- коэффициент поглощения в системах конструкционного демпфирования зависит от амплитуды силы (деформации), имеет экстремум и гиперболически уменьшается с ростом амплитуды силы или деформации.
- жесткостные свойства систем виброзоляции.

Учитывая особенности и недостатки существующих демпферов, а также особенности и проблемы создания упругодемпфирующих систем, была разработана модель конструкции активной виброопоры, которая представлена на рисунках 6-8.

[изъято 27 страниц]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения данной работы были рассмотрены понятие вибрации, определение и принцип работы виброопор, составлена математическая модель используемой виброопоры и построена схема автоматизации технологического процесса.

Вибрации считаются вредным фактором воздействия на организм человека и на технологическое оборудование, поэтому задача любого производства минимизировать риски внезапного выхода из строя оборудования. На данный момент все предприятия уделяют особое внимание вибродиагностике и своевременному ремонту оборудования. Также стоит отметить, что современные технологии имеют способы минимизации вибрации, а также возможных последствий для оборудования и человека.

К эффективной технологии минимизации вибрации можно отнести использования магнитореологической жидкости в амортизаторах. Магнитореологические жидкости обладают способностью практически мгновенно изменять свои реологические свойства под воздействием магнитных полей. При использовании МР-амортизаторов снижаются возможные колебания в процессе работы оборудования.

Применение магнитореологической жидкости в стержне данной виброопоры позволяет изменять коэффициент демпфирования при приближении колебаний оборудования к предельно-допустимым значениями. В результате, такая конструкция виброопоры имеет главное преимущество перед другими конструкциями – адаптивность. Поставленные цели и задачи работы были достигнуты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Разумов, И.К. Основы теории энергетического действия вибрации на человека / И.К. Разумов. – Москва: Медицина, 1975. – 208с.
2. Семёнов, И. П. Производственная вибрация : учебно-методическое пособие / И. П. Семёнов, И. А. Кураш. – Минск : БГМУ, 2018. – 52 с.
3. ГОСТ 28362-89 (ИСО 2017-82) Вибрация и удар. Виброизолирующие устройства. Информация, представляемая заказчиками и изготовителями. – Введ. 01.01.1991. – Москва : Стандартинформ, 2006. – 7 с.
4. РТМ 38.001-94 Указания по расчету на прочность и вибрацию технологических стальных трубопроводов. – Утв. 26.12.1994. – Москва : Стандартинформ, 1994. – 122 с.
5. ГОСТ 24346-80. Межгосударственный стандарт. Вибрация. – Введ. 01.01.1981. – Москва : Стандартинформ, 2010. – 73 с.
6. ГОСТ 12.1.003-83 Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Шум. – Введ. 01.07.1984. – Москва : Стандартинформ, 2010. – 13 с.
7. ГОСТ 16372-93. Машины электрические вращающиеся. Допустимые уровни шума. – Введ. 01.07.1995. – Москва : Госстандарт России, 1994. – 15 с.
8. ГОСТ 25980-83 Вибрация. Средства защиты. – Введ. 01.01.1985. – Москва : Издательство стандартов, 1983. – 7 с.
9. ГОСТ 31191.2-2004 (ИСО 2631-2:2003) Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 2. Вибрация внутри зданий. – Введ. 01.07.2008. – Москва : Стандартинформ, 2008. – 9 с.
10. ГОСТ ИСО 5348-2002 Вибрация и удар. Механическое крепление акселерометров. – Введ. 01.04.2008. – Москва : Стандартинформ, 2007. – 16 с.
11. ГОСТ Р 53964-2010 Вибрация. Измерения вибрации сооружений. Руководство по проведению измерений. – Введ. 01.12.2011. – Москва : Стандартинформ, 2011. – 15 с.

12. ГОСТ Р ИСО 2017-1-2011 Вибрация и удар. Упругие системы крепления. Часть 1. – Введ. 01.12.2012. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 20 с.
13. ФНП в области промышленной безопасности Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности – Введ. 12.03.2013. - – Москва : Информационно-издательский центр России, 2013.
14. Пат. 4650168 United States, МПК F 19 F 9/08. Elastic engine mount with hydraulic damping / R. Andra, M. Hofmann ; заявитель и патентообладатель Metzeler Kautschuk GmbH. – № 802737 ; заявл. 29.11.1985 ; опубл. 17.05.1987. - 4 с.
15. Пат. 8127900 United States, МПК F 19 F 15/03. Electromagnetic shock absorber for vehicle / Hirofumi Inoue ; заявитель и патентообладатель Toyota Jidosha Kabushiki Kaisha. – № 12089441 ; заявл. 21.09.2006 ; опубл. 06.03.2012. - 19 с.
16. Пат. 9592726 United States, МПК F 19 F 15/02, В 6О К 5/2. Active vibration isolating support apparatus / Tetsuya Ishiguro, Hirotomi Nemoto, Shungo Fueki; заявитель и патентообладатель Honda motor CO., LTD.– № 14277413 ; заявл. 14.05.2014 ; опубл. 14.03.2017. - 38 с.
17. Пат. 181210 Российская Федерация, МПК F 16 F 15/04, Е 21 В 15/00. Виброопора со сферическими упругодемпфирующими элементами / Э. А. Петровский, К. А. Башмур, В. В. Бухтояров, Ф. А. Бурюкин ; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет. – № 2017145297 ; заявл. 22.12.2017 ; опубл. 06.07.2018 , Бюл. №2. - 5 с.
18. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Санитарные нормы. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. – Введ. 31.10.1996. – Москва : Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. – 11 с.
19. СНиП 23-03-2003 Защита от шума. - Введ. 01.01.2004- Москва. : Госстрой России, 2004. – 55 с.

20. Audi magnetic ride [Электронный ресурс] // Audi Technology Portal. Режим доступа: https://www.audi-technology-portal.de/en/chassis/suspension-control-systems/audi-magnetic-ride_en.
21. Spencer, B. F. Phenomenological model of a magnetorheological damper / B.F. Spencer, S.J. Dyke, M.K. Sain, J.D. Carlson. // J. Eng. Mech., ASCE 123, 1997. 248 с.
22. ЧАО Чен. Регенеративные магнитореологические демпферы для подвесок транспортных средств, ЧАО Чен, Ли Цзоу, Вэй-Синь Ляо // Кафедра машиностроения и автоматики Китайский университет Гонконга, Шатин, NT, Гонконг, Китай. – 9 с.
23. Xiaolin Zi. A study on the theory and performance simulation of the hydraulic electromagnetic energy-regenerative shock absorber / Xiaolin Zi, Sijing Guo, Xuexun Guo, Jing Pan. // Wanxiang Group Corporation Technology Center, Hangzhou 311215. - China, 2013. – 5 с.
24. Amir Maravandi. Regenerative Shock Absorber Using a Two-Leg Motion Conversion Mechanism, Amir Maravandi and Mehrdad Moallem. // Simon Fraser University, Surrey, BC, Canada, 2015. – 9 с.
25. Абакумов, А.М. Аналитическое и экспериментальное исследование системы виброзащиты с управляемым демпфером / А.М. Абакумов, Э.Г. Чеботков, Д.Г. Рандин // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2014. – № 4(48). – с.56-60.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа

Кафедра технологических машин и оборудования нефтегазового комплекса

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Э. А. Петровский
подпись

«21 » июня 2021 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

направление 21.03.01 «Нефтегазовое дело»

профиль 21.03.01.07 «Эксплуатация и обслуживание технологических объектов
нефтегазового производства»

«Автоматизация виброопор технологических компрессорных установок»

Руководитель Ольга / 06.06.2021 доцент, канд. техн. наук
подпись, дата должность, ученая степень

В.В. Бухтояров
иинициалы, фамилия

Выпускник Надежда / 06.06.2021
подпись, дата

В.А. Качаева

Красноярск 2021