

Введение

Актуальность работы. Рентабельность современного газонефтеперерабатывающего производства как правило определяется системой эксплуатации и ремонта насосно-компрессорного оборудования. На данный момент большинство предприятий используют затратную систему планово-предупредительных ремонтов. В связи с этим предприятия несут прямые потери, связанные с проведением ремонта, в котором нет необходимости, в связи с частым ухудшением качества работы центробежных машин после ремонта, внезапным отказам оборудования в межремонтный период, которые приводят к тяжёлым материальным и экологическим последствиям.

Чтобы внедрить прогрессивную систему технического обслуживания оборудования, а именно для защиты от аварий нужно использовать независимые средства контроля и диагностики. В настоящее время в технических средствах диагностики используют разнообразные методы анализа технического состояния: временной реализации, трендов параметров, анализ спектра, функций распределения и другие. Так как на сегодняшний день спектральные методы очень хорошо изучены и практически всегда применяются в практике вибродиагностики существует большой потенциал в совершенствовании данного метода для повышения точности постановки диагноза исследования в условиях заведомо известной неопределенности конструкции агрегатов, режимов ее работы, упрощения настройки алгоритмов на тип используемого оборудования для анализа. Наиболее важным является обеспечение самого высокого быстродействия систем, которое в большинстве случаев определяется длиной необходимой выборки вибрационного сигнала.

					Анализ и мониторинг неисправностей центробежных машин			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Радченко Д.В.			Введение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Рудаченко В.А.					6	92
Консульт.						Кафедра транспорта и хранения нефти и газа Группа 2Б2Б		
Зав. Каф.		Рудаченко А.В.						

Приблизительно 85% механического оборудования нынешних газонефтехимических производств составляют центробежные машины и привода. Из-за этого техническое состояние газонефтехимических установок в большинстве случаев определяется техническим состоянием насосного парка.

Целью работы является повышение безопасности центробежных установок крупных газонефтехимических комплексов путём анализа и мониторинга неисправностей центробежных машин по параметрам вибрации в условиях неопределённости при сравнительно небольшой длине выборки сигнала.

Научная и практическая значимость работы заключается в анализе различных дефектов центробежной машины при помощи диагностического анализатора АДП 3101. Так же для более точного определения спектра вибрации определённого дефекта необходимо точно настроить датчик для уменьшения погрешности измерения. Так как если датчик настроен не точно, он не может с высокой точностью определить возникшую вибрацию. При помощи экспериментальной центробежной машины можно смоделировать любой дефект, который может возникнуть на производстве, что даёт возможность заблаговременно устранить появившиеся отклонения на стадии зарождения. Это позволит уменьшить затраты при эксплуатации центробежных машин на производственном уровне.

Объектом исследования является разработанная для анализа и моделирования неисправностей центробежная машина, которая позволяет в лабораторных условиях смоделировать дефект и проанализировать спектр вибрации для данного дефекта.

Предметом исследования является возникающая вибрация центробежной машины при том или ином виде дефекта.

					Введение	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Научная новизна данной работы в том, что используется комплекс программ для анализа дефектов центробежной машины. К прибору АДП 3101 подключаются различные датчики, которые в свою очередь могут определять возникшую вибрацию при появившемся дефекте центробежной машины на малых и высоких частотах, что позволяет выявить дефект на малых мощностях. Так же экспериментально было определено что датчики нужно настраивать на определённые частоты для более точного измерения.

					Введение	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1. Центробежные машины

В нефтяной промышленности применяют центробежные насосы для перекачки различных жидкостей горячих и холодных нефтепродуктов, сжиженных газов и реагентов.

На газонефтеперерабатывающих и газонефтехимических заводах для транспортировки жидкостей и компримирования газов применяют центробежные машины. К центробежным машинам относятся центробежные насосы, турбогазоводувки, турбокомпрессоры, турбовоздуходувки, паровые и газовые турбины. Большая часть центробежных машин используется для транспортировки пожаровзрывоопасных, едких и токсичных жидкостей при высокой производительности, температур и напора. Центробежные машины перекачивают взрывоопасные и токсичные газы. Поэтому при ремонте центробежных машин и оборудования большое значение приобретают требования, предъявляемые к сборке и качеству ремонта, как всей центробежной машины, так и отдельных деталей, узлов, так как неисправности в насосах, компрессорах и их узлах приводят к нарушению технологического режима, авариям и несчастным случаям.

Для привода центробежных машин обычно применяют электродвигатели и газотурбинные двигатели. Это очень удобно, когда центробежная машина предназначена для нагнетания природного газа, который используется в качестве топлива для газовой турбины для меньших затрат. В этих случаях в состав установки помимо машин, предназначенных непосредственно для нагнетания газа, входят также центробежные машины, обслуживающие газовую турбину и электрогенераторы, используемые для получения электроэнергии. Такие агрегаты называются газотурбинными установками.

					Анализ и мониторинг неисправностей центробежных машин						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							
Разраб.		Радченко Д.В.			Центробежные машины	Лит.	Лист	Листов			
Руковод.		Рудаченко В.А.					11	92			
Консульт.						Кафедра транспорта и хранения нефти и газа Группа 2Б2Б					
Зав. Каф.		Рудаченко А.В.									

1.1 Центровка центробежных машин

Центровка роторных машин необходима в связи с тем, что сопрягаемые в муфте валы ротора часто не являются горизонтальным продолжением друг друга. При этом возникают ситуации:

- перекос валов в муфте,
- параллельное смещение валов,
- излом валов (и перекос и параллельное смещение).

Такое положение валов вызывает появление динамических сил, приводящих к вибрации на 2, 3 иногда 4 гармониках оборотной частоты. Поэтому вибродиагностическим признаком расцентровки является появление высших гармоник в осевой вибрации агрегата. Одним из радикальных средств снижения вибрации является качественная центровка насоса и электродвигателя, приводящая к тому, что под нагрузкой вибрация электродвигателя снижается на 20 - 30% по сравнению с вибрацией в неагрегированном состоянии.

Центровка центробежных машин и агрегатов, работающих на высоком числе оборотов, является наиболее ответственной операцией сборки при монтаже и ремонте. Неправильная центровка вызывает вибрацию агрегатов, чрезмерный нагрев и преждевременный износ подшипников, износ уплотнений и нагрев вала, нарушает нормальное соединение муфт. Более важной из причин появления вибрации центробежной машины является неуравновешенность масс ротора. В зависимости от расположения этих масс неуравновешенность может быть статической или динамической.

Определенное время центробежную машину обкатывают без нагрузки. Поршневые машины обычно обкатывают со снятыми клапанными крышками и вынутыми из цилиндров клапанами. При обкатке центробежной машины ведут непрерывное наблюдение за подачей смазки на все трущиеся поверхности, давлением и следят, возникают или нет стуки и удары в

					Центровка центробежных машин	Лист
						12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

механизме движения, измеряют температуру подшипников и величину осевого сдвига в центробежных машинах.

Механические колебания могут проявлять себя как опасное явление, нарушающее режимы работы машин, что может привести к возникновению износа, увеличению напряжений в деталях машин вплоть до разрушения, ухудшению условий труда (возрастанию вибрационного воздействия на человека, окружающую среду и уровня шума).

1.2 Основные причины нарушения центровки в процессе эксплуатации

Под центровкой агрегата понимается производство ряда операций, обеспечивающих в рабочем положении агрегата правильное геометрическое расположение деталей и совпадение осей роторов с осями подшипников и корпусов.

При монтаже агрегата последовательно производится центровка:

1-ая - по уровню и струне;

2-ая - по расточкам под уплотнения;

3-ая - по полумуфтам.

Центровка по уровню и струне обеспечивает нормальное расположение деталей роторов и корпусов подшипников в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Центровка по расточкам позволяет обеспечить совпадение осей вращения ротора и расточки корпуса, что обеспечивает минимальные и равномерно распределенные радиальные зазоры в уплотнениях и проточной части. Завершающим этапом центровки является центровка по полумуфтам. Выполнение этой операции обеспечивает такое взаимное расположение роторов, когда ось электрической машины является продолжением оси вала центробежной машины, а ось всей центробежной машины с приводом

					Центровка центробежных машин	Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

является одной непрерывной линией. Этот заключительный этап центровки позволяет проконтролировать все предыдущие этапы.

Проверка центровки по полумуфтам является обязательной при капитальном ремонте, поскольку в процессе длительной эксплуатации, как правило, происходит смещение корпусов подшипников относительно мест их установки.

Центровку по полумуфтам проверяют по положению полумуфт относительно друг друга. эталонному положению роторов соответствует параллельность корпусов и концентрическое положение. Поэтому в основу центровки положено измерение относительного положения полумуфт при одновременном повороте роторов. Если оси роторов смещены параллельно, то расстояние между торцами одинаковое, а концентричность нарушена. Если возникает излом, то при вращении роторов меняется расстояние между торцами и концентричность полумуфт.

Таким образом, практическая центровка заключается в том, чтобы при изменении относительного положения ротора электрической машины и ротора центробежной машины обеспечивали концентричность полумуфт при повороте роторов на один и тот же угол и параллельность торцов агрегатов. При этом величина допуска на непараллельность (измерения по торцевой поверхности) должна контролироваться совместно с допуском на несоосность (измерение по отверстию). Поэтому добиваются допустимых значений величины не параллельности, а потом добиваются требуемых величин несоосности, если при этом изменяются величины первого допуска, то работа повторяется.

Технология центровки агрегата заключается в подборе необходимой величины прокладки под опорами лапы и перемещении машины на раме в горизонтальном и вертикальном направлениях. Подъем машины для установки прокладки частично осуществляется с помощью домкратных

					Основные причины нарушения центровки в процессе эксплуатации	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

болтов. Прокладки должны быть очищены, промыты, использование прокорродированных прокладок не допускается. Под каждую опорную лапу допускается установка не более трех прокладок. В тех случаях, когда оборудование до начала ремонтных работ эксплуатируется с низким уровнем вибрации, особенно в низкочастотной области, то необходимо сохранять значение центровок валов в холодном состоянии.

К числу основных факторов, вызывающих изменение центровки в процессе эксплуатации, относятся:

- смещение роторов турбины и нагнетателя газоперекачивающего агрегата во вкладышах подшипников вследствие смещения шеек роторов на масляном клине, образующемся во вкладышах при вращении;
- температурные деформации корпусов и трубопроводов, а также подшипников, вызывающие изменение относительного положения осей расточек корпусов и подшипников;
- состояние фундамента, связанное с сезонным изменением грунтов и уровнем грунтовых вод.

Поскольку центровка агрегата ведется не в рабочем состоянии (холодном), то при ее производстве должны учитываться все изменения взаимного положения деталей, которые происходят при переходе рабочего в нерабочее состояние, агрегат в нерабочем состоянии должен быть специально расцентрован, чтобы последующие изменения обеспечили последующую центровку. При центровке валов силовой турбины и нагнетателя необходимо учитывать тепловое расширение. Величины тепловых расширений определяются экспериментально и указываются в технических условиях.

В центробежной машине наибольшее тепловое расширение возникает в выхлопном контуре силовой турбины, которая расширяется вверх на 0,94 мм. Ось редуктора при прогреве поднимается на 0,36 мм. Поскольку тепловое расширение нагнетателя равно 0,14 мм, поэтому в холодном состоянии ось

					Основные причины нарушения центровки в процессе эксплуатации	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

нагнетателя должна быть на 0,22 мм ниже редуктора. Если величины тепловых расширений заданы правильно, то после соблюдения допусков на центровку в холодном состоянии, после прогрева агрегата обеспечивается надежная работа подшипников, муфт и промежуточных валов.

1.3 Роль вибродиагностики в обеспечении надёжности центробежных машин

В связи с огромной информационной емкости виброакустических процессов, сопровождающих бесперебойное функционирование машин и механизмов, использованию современной микропроцессорной техники и новых методов обработки измерительной информации, требования обеспечения комплексной оценки технического состояния машинного оборудования в рабочих условиях без его демонтажа выдвигают на передний план именно методы пьезоэлектрической диагностики как самой чувствительной к изменению колебаний объекта исследования под воздействием возникших неисправностей.

Качество работы любой технической системы, характеризующееся точностью и эффективностью функционирования, несёт тенденцию со временем наработки к изменению свойств материалов изделий под влиянием внешних и внутренних факторов. Нарушение работоспособности системы в теории надёжности называется отказом. По физической сущности отказы механической системы делятся на внезапные и постепенные. Внезапные отказы чаще всего возникают из-за технологических и конструктивных дефектов, или внезапных внешних воздействий. Постепенные отказы возникают из-за старения, накопления повреждений в результате изнашивания, усталости, пластических деформаций, коррозии, эрозии и других физико-химических процессов, которые протекают в материалах изделий при эксплуатации центробежного оборудования. Хотя отказы центробежных машин являются случайными событиями, их вызывают определенные процессы, зависящие от ряда факторов: принципа действия

					Основные причины нарушения центровки в процессе эксплуатации	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

изделия, конструктивных особенностей, используемых материалов, технологии изготовления, режимов и условий работы.

Для повышения надежности и безопасности машин и механизмов, а также снижения затрат на их эксплуатацию, широкое распространение получают системы мониторинга состояния и диагностики.

1.4 Колебания центробежных машин

При эксплуатации центробежных машин бывает два принципиально различных метода измерения вибраций - при помощи датчиков измерения абсолютных колебаний и относительных колебаний. Вибрация центробежных машин создаётся преимущественно их вращающимися частями (ротор электрической центробежной машины и ротор самого центробежного агрегата) и пульсациями давления, которые возникают при перекачке центробежной машиной какой-либо из сред. Самым главным возбудителем вибраций является неуравновешенность роторов насоса и электродвигателя центробежной машины.

Ротор, имеющий дисбаланс, создает во время вращения свободные центробежные силы, зависящие от частоты вращения. Величина свободной центробежной силы определяется по формуле:

$$F = m \cdot r \cdot \omega^2 \quad (1)$$

Вызванные дебалансом центробежные силы побуждают ротор и вал ротора к колебаниям рисунок 1. Через подшипники качения колебания передаются на опоры и на фундамент центробежной машины. Колебания, которые возникают на центробежной машине зависят от различных параметров. Самые существенные из них: жесткость и демпфирование масляной пленки, опор и фундаментов, масса роторов, опор и фундаментов.

					Роль вибродиагностики в обеспечении надёжности центробежных машин	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

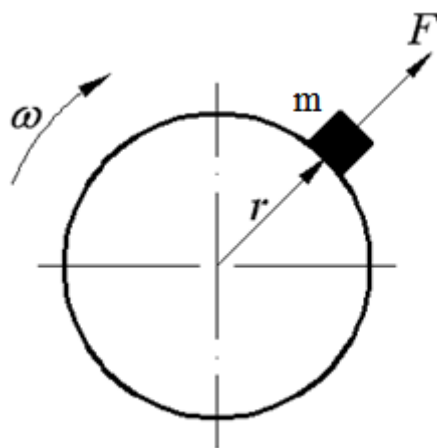


Рисунок 1 – Схема возникновения свободной центробежной силы F при дисбалансе ротора.

Если величина вибрации оценивается для отдельной электрической машины в испытательном помещении, условия измерения и допустимые значения вибрации определяются по ГОСТ 20815 (МЭК 34-14-82). Этот стандарт устанавливает, что при измерении вибрации на месте эксплуатации, следует пользоваться специальными методиками, разработанными для машин конкретных типов.

В центробежных машинах на подшипниках скольжения необходимо дополнительно учитывать соотношение масс и жесткости объекта. Ротор с небольшой массой может побудить жесткую опорную конструкцию с большой массой только к незначительным колебаниям подшипников. Относительные колебания вала при этом в 10-30 раз больше, чем абсолютные колебания подшипников. В этом случае в качестве измеряемой величины необходимо выбрать относительное колебание вала. Если масса роторов увеличивается незначительно, много меньше массы подшипниковых узлов со стояками, то относительные колебания валов только в 3-10 раз больше, чем абсолютные колебания подшипников. В таком случае помимо измерения относительных колебаний валов необходимо измерять еще абсолютные колебания самих подшипников, чтобы получить более достоверную информацию о техническом состоянии центробежной машины.

Если масса роторов центробежной машины и электродвигателя сопоставима с массой подшипниковых опор или больше, абсолютные колебания валов могут достичь примерно таких же значений, как абсолютные колебания подшипников. При этих случаях рекомендуется измерять абсолютные колебания валов и корпусов подшипников.

Измерение абсолютных колебаний валов ввиду необходимости специальной измерительной аппаратуры вызывает большие трудности. Поэтому эти колебания учитываются, как правило, при эксплуатации только больших турбоагрегатов электростанций.

Чтобы выяснить причины, вызывающие вибрации насосного агрегата, необходимо провести диагностические работы с частотным анализом вибраций насосного агрегата. При частотном анализе с помощью виброизмерительной аппаратуры определяются все частотные составляющие вибраций, которые вызывают колебание машины.

1.5 Относительные колебания валов

Ротор, имеющий дисбаланс, приводит к колебаниям вала и самой установки в целом. Центр вала движется во время вращения по кинетической траектории вала.

Если применяются изотропные вал и подшипники кинетическая траектория, вызванная дисбалансом, составляет круг для каждого сечения ротора. Но чаще всего для центробежных машин применяют анизотропные подшипники, т.е. они имеют разную податливость в своих обоих главных направлениях жесткости. Из-за этого их кинетическая траектория вала принимает характер эллипса, которая может приобрести форму прямой. Величина, форма и положение кинетической траектории вала изменяется в зависимости от частоты вращения центробежной машины. Обычно кинетические траектории с наибольшим отклонением от оси вращения достигают максимума при критической частоте вращения вала.

					Колебания центробежных машин	Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Кинетическая траектория вала содержит все информации о колебаниях вала ротора. Для получения кинетической траектории вала в одной радиальной плоскости ротора следует закрепить два датчика относительной вибрации в двух перпендикулярных к друг другу направлениях).

Каждый датчик принимает измеряемые в соответствующем направлении вибросмещения вала $s_1(t)$ и $s_2(t)$. Синфазное сложение мгновенных вибросмещений дает мгновенную кинетическую амплитуду вала в плоскости измерения.

1.6 Абсолютные колебания опор

Колебания вала центробежной машины представляют собой непосредственную реакцию ротора на воздействующие на него переменные усилия. Через реагирующую как пружина пленку масла подшипника скольжения или через тело качения подшипника качения частично колебания вала передаются на саму опорную конструкцию, на раму и на фундамент где жестко крепится центробежная машина с механизмами. Такие колебания представляют косвенную реакцию на усилия ротора и называются колебаниями опор.

Соотношение величин между колебаниями вала ротора и возникающими на поверхности машины колебаниями опор зависит от различных факторов влияния. Из-за этого их нельзя заранее с уверенностью предопределить. Вообще же, как правило, на основании колебаний вала заключений по поводу колебаний опор, и наоборот, делать нельзя. При абсолютных колебаниях опор, рассматриваются колебания, которые возникают на поверхности центробежной машины и на опорах, к которым эта машина крепится. Эти колебания чаще всего замеряются без особых трудностей в трех координатных направлениях на корпусах подшипниковых опор. Для машин горизонтального исполнения (магистральные и горизонтальные подпорные насосные агрегаты), вибрации замеряются в осевом, горизонтальном и вертикальном направлениях. Полученные данные вибрации в этих местах результаты измерения учитываются отдельно и

					Относительные колебания валов	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

контролируются. Из возможных величин измерения абсолютных колебаний опор принимается эффективное значение виброскорости v_{eff} (мм/с). Определяющим значением, характеризующим вибрационное состояние агрегата, является максимальная величина эффективного значения виброскорости (среднего квадратического значения виброскорости), которая измеряется на всех подшипниковых опорах центробежной машины и электродвигателя во взаимно-перпендикулярных направлениях.

1.7 Общие требования к измерению вибрации

Для правильного замера параметров колебаний необходимо соблюдать следующие правила:

- Рабочий частотный и динамический диапазоны не должны быть ограничены в следствие ненадежного крепления акселерометра;
- Добавлении присущей акселерометрам массы не должно обусловить динамических характеристик вибрирующего объекта;
- Места крепления акселерометров должны быть точно определены и должны допускать многократное крепление используемых вибродатчиков;
- Необходимо как можно лучше подготовить поверхность (ровность, гладкость и чистота) исследуемого объекта (связано с собственной частотой колебаний акселерометра);
- Необходимо учитывать совпадение оси максимальной чувствительности закрепленного акселерометра с направлением, соответствующим условиям обследования (для уменьшения поперечной чувствительности акселерометра);
- Места крепления акселерометров нужно выбирать с учетом достижения как можно коротких и определенных путей распространения механических колебаний от источников к вибродатчикам. Между источником колебаний и местами крепления акселерометров должны находится только жесткие элементы, в то время как упругие и/или

					Относительные колебания валов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

демпфирующие элементы (пружины, прокладки, крышки) нужно по мере возможности исключить.

2. Анализ вибрации

2.1 Общие положения виброакустической диагностики

Виброакустическая диагностика является разделом технической диагностики - области знаний, охватывающей теорию, методы и средства определения технического состояния объектов [1].

Процесс определения технического состояния объекта - это техническое диагностирование, задачами которого являются:

- контроль технического состояния центробежной машины;
- поиск места и определение причин отказа (неисправности);
- прогнозирование технического состояния [1].

Контроль технического состояния содержит в себе соответствия значений параметров объекта требованиям технической документации и на этой основе определение одного из заданных видов технического состояния в данный момент времени [1].

Прогнозирование технического состояния - это определение технического состояния объекта с заданной вероятностью на предстоящий момент времени [1]. Виброакустическая диагностика определяет состояние объекта по информации, содержащейся в виброакустическом сигнале.

Техническое состояние центробежной машины - это совокупность подверженных изменению свойств, характеризуемое в определенный момент времени признаками, установленными документацией на этот агрегат, на протяжении его жизни. При проектировании, отработке конструкции, производстве и ремонте: от неработоспособности и неисправности к работе -

					Анализ и мониторинг неисправностей центробежных машин			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Радченко Д.В.			Анализ вибрации	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Рудаченко В.А.					22	92
Консульт.						Кафедра транспорта и хранения нефти и газа Группа 2Б2Б		
Зав. Каф.		Рудаченко А.В.						

способности и исправности. А на производстве при эксплуатации оборудования всё протекает наоборот, а именно: от исправности и работоспособности к неисправности, предельному состоянию и неработоспособности.

Работоспособность - это техническое состояние объекта в рассматриваемый момент времени, отображающее индивидуальное или совокупное проявление его свойств и способность выполнять установленные для него служебные функции в последующий за рассматриваемым моментом период времени [1].

Мониторинг технического состояния исследуемого объекта – наблюдение за процессом изменения его работоспособности с целью предупреждения обслуживающего персонала о достижении им предельного состояния [2].

Мониторинг технического состояния центробежной машины позволяет перевести большинство отказов из категории внезапных в категорию постепенных за счет раннего обнаружения и оповещения персонала о развивающейся неисправности, которая пока не является опасной и не нарушает работоспособность центробежной машины.

Техническое состояние машин характеризуется ее структурными параметрами, изменение которых является причиной изменения технического состояния. Структурными параметрами называются параметры деталей машин, их взаимные расположения - размеры, перекосы, нарушение геометрии, взаимное расположение и сопряжение деталей, микроструктура металла, зазоры, люфты, деформации и износы.

2.2 Основные виды анализа и область их применения

Под анализом вибрации принято понимать исследование функциональных зависимостей измеряемых параметров вибрации от одной или нескольких независимых переменных. Наиболее часто в качестве

					Общие положения виброакустической диагностики	Лист
						23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

переменных используют время, частоту, пространственную координату или порядковый номер в группе независимых измерений вибрации [3].

При исследовании вибрации как функции времени чаще всего на практике анализируют форму временного сигнала вибрации, орбиту движения центра вала, а также параметры плотности распределения вероятностей мгновенных ее значений. Из частотных видов анализа вибрации наиболее широко используют спектральный, следящий и синхронный. Большинство задач пространственного анализа вибрации связано с определением формы колебаний машин и оборудования или координат дефектов в протяженных системах, например, трубопроводах. И, наконец, групповой анализ параметров сигнала вибрации чаще всего используют для определения пороговых значений в диагностических моделях. Вибрация работающих машин и оборудования обычно содержит большое количество компонентов разного происхождения. Поэтому для ее изучения используют либо статистические методы анализа сигналов, либо предварительно выделяют отдельные компоненты вибрации, которые затем исследуют детерминистскими или статистическими методами анализа [3].

Сигнал вибрации электрической машины, измеренной на одном из ее подшипниковых щитов (рис. 2) - типичный пример сложной формы вибрации роторной машины - убедительно иллюстрирует необходимость разделения его при диагностическом анализе на отдельные компоненты.

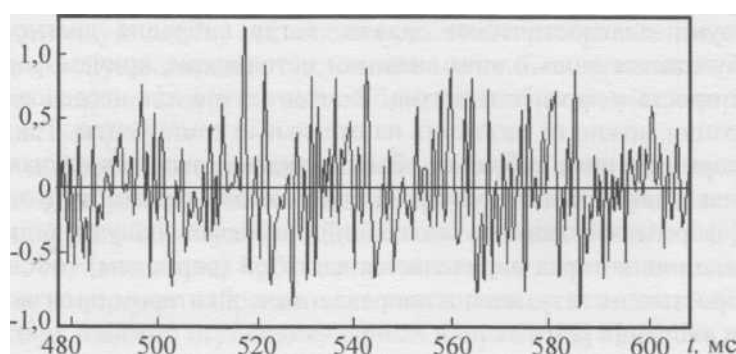


Рисунок 2 – Форма сигнала вибрации работающей электрической машины

					Основные виды анализа и область их применения	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

В редких случаях сложный сигнал вибрации анализируют без предварительного разделения на его составляющие. Для этого используют статические методы анализа сигнала. Но при статическом анализе сложных сигналов вибрации большая часть диагностической информации теряется. Но для оценки оперативной симметрии вибрации относительно среднего значения, для этого можно использовать статический анализ вибрации.

Очень полезен и информативен метод анализа использующий пространственно-раздельные колебания узла в одной плоскости. Примером можно поставить анализ орбит движения вала в подшипниках, для этого производится измерение вибрации вала относительно неподвижной платформы неподвижной части подшипника в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Результат измерения такого вибросмещения вала в двух направлениях приведён на рисунке 3.

Орбита движения вала в подшипнике зависит от многих факторов, а именно от дефектов вала и самого подшипника, а также качества и количества нанесённой смазки. Такой анализ позволяет обнаружить возможные виды дефектов и определить степень опасности того или иного объекта за несколько оборотов вала центробежной машины. В настоящее время в практике вибродиагностики наибольшее распространение имеют способы диагностики по параметрам виброскорости и виброперемещения.

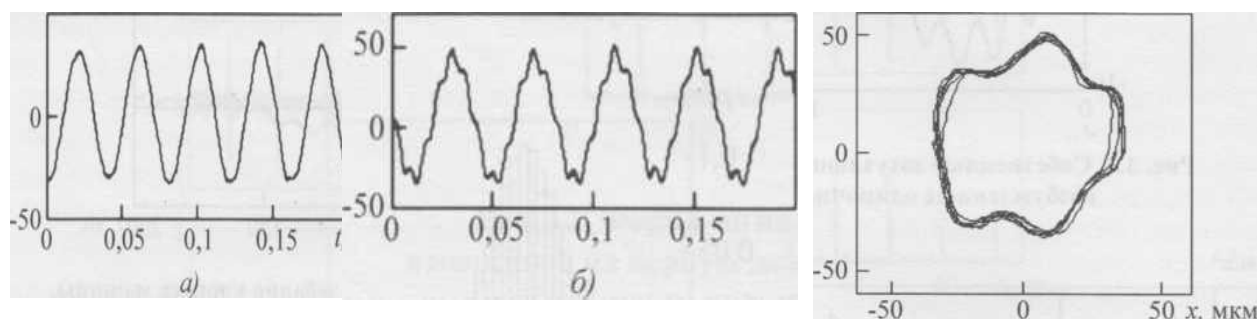


Рисунок 3 – Зависимость вибросмещения вала относительно опоры вращения от времени в двух направлениях (а, б) и орбита движения вала в подшипнике качения, имеющего значительный износ (в)

					Основные виды анализа и область их применения	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

Для распознавания спектра вибрации центробежной машины и определения вида дефекта необходимо иметь следующие данные:

- частота вращения;
- число лопаток импеллера;
- типы подшипников

Частота вращения и число лопаток импеллера являются основными параметрами центробежной машины, необходимыми для автоматического распознавания спектра.

Конструкция центробежной машины консольного типа приведена на рисунке 4. Агрегат состоит из двигателя (1), соединительной муфты (2), центробежной машины (3), в составе которого находится импеллер (рабочее колеса) (4). Роторы двигателя и насоса опираются на подшипниковые узлы (5,6).

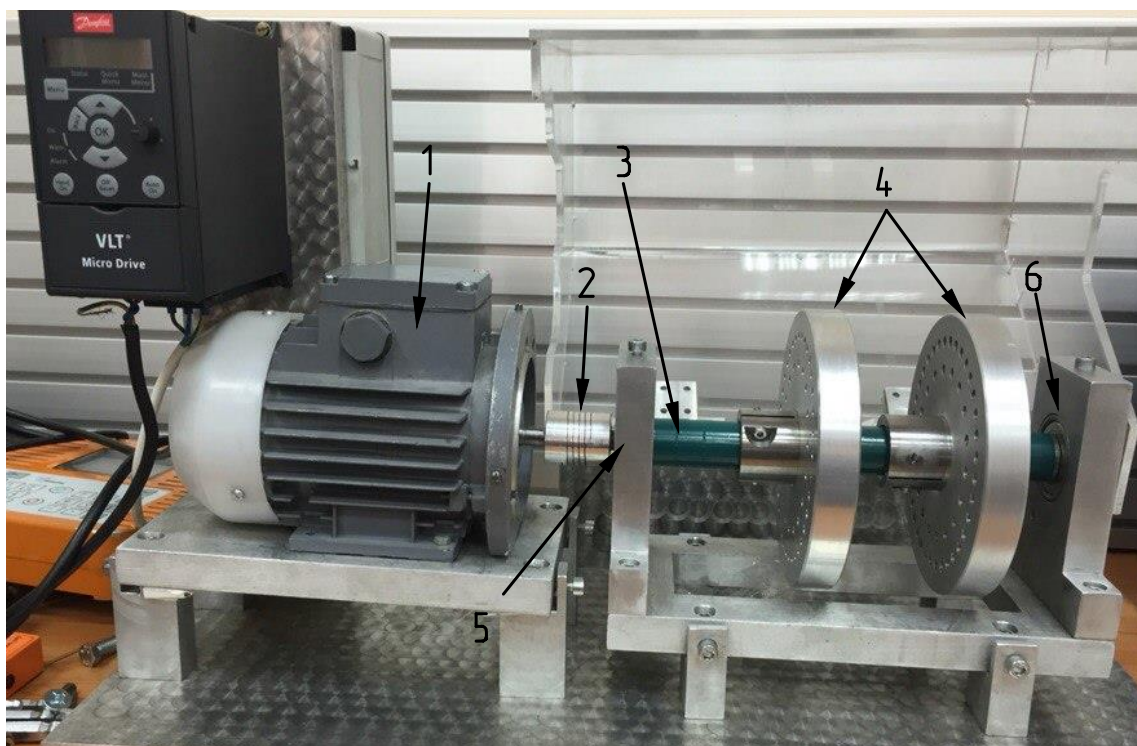


Рисунок 4 – Конструкция центробежной машины

В таблице 2 приведены основные виды дефектов центробежного насоса и их проявление в спектре вибрации [4].

					Основные виды анализа и область их применения	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

Таблица 2 - Спектральные признаки основных дефектов ЦНА

№ п.п.	Вид дефекта	Спектральный признак
1	Дисбаланс	1 гармоника F_r
2	Нарушение центровки	2-3 гармоники F_r при максимальном уровне 2 гармоники
3	Нарушение крепления	Низкочастотная вибрация ($F < F_r$)
4	Дефекты подшипников	Частоты, не кратные частоте вращения. Значение частоты зависит от типа установленного подшипника и вида его дефекта.
5	Дефекты рабочего колеса, нарушение гидродинамики потока, кавитация.	1-3 гармоники лопаточной частоты $F_l = N - F_r$, где N - число лопаток импеллера.

Одна из важных характеристик вибрации – это мощность, при этом не всего сигнала вибрации, а составляющих этой вибрации, которые имеют одну природу и предварительно выделяются из сигнала:

1. если выделенные составляющие вибрации представляют собой сумму двух близких по частоте компонентов, то мощность самой вибрации изменяется с частотой биений и в этом спектре колебаний мощности появляется одна составляющая – частота биений;
2. если мощность постоянна во времени, то в спектре колебаний не будет составляющих;
3. если вибрация имеет много разных компонентов и при этом присутствует ударный компонент ударного вида, который возбуждается периодическими ударами, то мощность выделенных составляющих вибрации меняется периодическими скачками.

2.3 Анализ относительной вибрации

Для измерения относительных вибраций широко используют измерения относительного виброперемещения ротора в подшипниках качения. Для этого используются вихретоковые датчики и проксиметры (устройства, представляющие собой осциллятор/демодулятор, которые обеспечивают функционирование бесконтактных вихретоковых датчиков). Такие датчики позволяют формировать параметры измеряемых сигналов, а именно:

- Переменную составляющую сигнала (отрицательный компонент), эта составляющая показывает колебания вала относительно точки крепления датчика.
- Постоянную составляющую сигнала, постоянный сигнал пропорционален среднему положению вала относительно точки (места) крепления датчика.

Для измерения вибраций и мониторинга машин, следует устанавливать два датчика ортогонально друг другу на подшипниках, что обеспечивает получение постоянных и переменных компонентов сигналов, необходимых для контроля в режиме on-line и диагностики. Это позволяет обеспечивать получение измерительной информации, которая необходима для мониторинга существенных свойств роторных машин (орбита движения, направление прецессии относительно направления вращения, усредненную позицию вала). При использовании датчиков относительной вибрации следует учитывать неизбежную погрешность измерения, которая возникает из-за того, что наряду с полезным сигналом, пропорциональным зазору между головкой самого датчика и вибрирующей деталью, измеряются помехи механического и электромагнитного происхождения (неровности и шероховатости шейки вала и ее магнитную неоднородность по углу поворота).

					Анализ относительной вибрации	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

3. Устройство виброизмерительное портативное АДП-3101

3.1 Описание и работа прибора

Устройство виброизмерительное портативное АДП-3101- анализатор диагностический портативный (в дальнейшем – прибор АДП-3101) предназначен для измерения, анализа, хранения и интерпретации вибрационных сигналов с целью диагностики состояния энерго механического оборудования и трубопроводов в промышленных условиях, проведения исследований вибрационных сигналов и балансировки роторов.

При использовании прибора АДП-3101 для диагностики не требуется применения компьютеров и других измерительных приборов, т.к. все диагностические программы хранятся в памяти самого прибора.

Область применения: газовая, нефтяная, нефтехимическая, пищевая промышленность, машиностроение, металлургия, энергетика, железнодорожный транспорт, коммунальное хозяйство.

Технические характеристики:

1. Рабочий частотный диапазон прибора при измерении вибросигналов (виброканалы 1,2) и переменного напряжения (прямые входы каналов 1 и 2) - от 0,5 до 20000 Гц с поддиапазонами: от 0,5 до 100 Гц, от 0,5 до 200 Гц, от 1,25 до 500 Гц, от 2,5 до 1000 Гц, от 10 до 2000Гц, от 10 до 4000Гц, от 25 до 10000 Гц, от 50 до 20000 Гц.

2. Неравномерность амплитудно-частотной характеристики прибора при измерении вибросигналов и переменного напряжения:

- в диапазоне частот от 0,5 до 20 Гц включительно, не более $\pm 5\%$;

					Анализ и мониторинг неисправностей центробежных машин		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Радченко Д.В.			Устройство виброизмерительное портативное АДП-3101	Лит.	Лист
Руковод.		Рудаченко В.А.					Листов
Консульт.							29
Зав. Каф.		Рудаченко А.В.					92
						Кафедра транспорта и хранения нефти и газа Группа 2Б2Б	

- в диапазоне частот свыше 20 до 20000 Гц, не более $\pm 3\%$.

3. Диапазоны прибора при измерении среднеквадратических значений (далее - СКЗ) вибропараметров при чувствительности используемого вибродатчика, равной 5 пКл/м/с² приведено в таблице 3.

Таблица 3 - Диапазон прибора при измерении среднеквадратических значений

виброускорения (A)	0,063-200 м/с ² (в диапазоне частот от 0,5 до 20000 Гц);
виброскорости (V)	• 0,126-1000 мм/с (в диапазоне частот от 1 до 25 Гц); • 0,0101-1280 мм/с (в диапазоне частот от 25 до 20000 Гц);
виброперемещения (D)	0,0051- 160000 мкм (в диапазоне частот от 1 до 4000 Гц),

Что соответствует допустимым величинам входного заряда при измерении:

- виброускорения - 0,316 - 1000 пКл (в диапазоне частот от 0,5 до 20000 Гц);
- виброскорости - 0,0791 - 781,25 пКл (в диапазоне частот от 1,0 до 25 Гц);
- 0,316 - 1000 пКл (в диапазоне частот от 25 до 20000 Гц);
- виброперемещения - 0,0791 - 2000 пКл (в диапазоне частот от 1,0 до 4000 Гц).

4. Диапазон прибора при измерении СКЗ переменного напряжения в диапазоне частот от 0,5 до 20000 Гц от 3,16 мВ до 10 В.

5. Пределы допускаемой основной относительной погрешности прибора при измерении СКЗ вибропараметров и переменного напряжения, $\pm 4\%$.

6. Пределы допускаемой основной относительной погрешности прибора при измерении СКЗ вибропараметров и переменного напряжения:

- в диапазоне от 0,5 до 20 Гц включительно, 10 %;
- в диапазоне свыше 20 до 20000 Гц, 6 %.

					Описание и работа прибора	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

7. Пределы допускаемой дополнительной относительной погрешности прибора при измерении вибропараметров и переменного напряжения:

- от изменения температуры в рабочих условиях, $\pm 5\%$;
- от воздействия влажности в рабочих условиях, $\pm 3\%$;
- от воздействия магнитного поля уровнем 80 А/м частотой 50 Гц, $\pm 3\%$;
- от воздействия акустического шума уровнем 100 дБ в полосе частот 125-8000 Гц, $\pm 2\%$.

8. Частоты переключения фильтров огибающей входного сигнала (режим измерения с включенным детектором огибающей) 1,25; 2,50; 3,75; 5,00; 6,25; 7,50; 8,75; 10,00; 11,25; 12,50; 13,75; 15,00; 16,25; 17,50; 18,75; 20,00; 21,25; 22,50; 23,75; 25,00; 26,25; 27,50; 28,75; 30,00; 31,25; 32,50; 33,75; 35,00; 36,25; 37,50; 38,75; 40,00 кГц.

Ширина полосы анализа прибора при измерении СКЗ спектра огибающей входного сигнала - 1/3 октавы (23,3%) от центральной частоты установки фильтра огибающей. Нижний предел частотного диапазона при измерении СКЗ спектра огибающей 10 Гц. Верхний предел определяется, исходя из половины ширины фильтра, т.е. 146, 291, 437, 583, 728, 874, 1165, 1331, 1456, 1602, 1748, 1893, 2039, 2184, 2330, 2476, 2621, 2767, 2913, 3058, 3204, 3349, 3495, 3641, 3786, 3932, 4078, 4223, 4369, 4514, 4660 Гц.

9. Значение относительного уровня помех, обусловленных гармоническими искажениями, при подаче на вход прибора синусоидального сигнала с уровнем 0,7 от напряжения полной шкалы не более 0,001.

10. Максимальный уровень собственных шумов прибора:

- при измерении напряжения в диапазоне частот от 0,5 до 20000 Гц, не более 600 мкВ (минимальное отношение сигнал/шум 14 дБ);
- при измерении виброускорения, не более 0,015 м/с² (минимальное отношение сигнал/шум 12 дБ);

					Описание и работа прибора	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- при измерении виброскорости в диапазоне частот от 1,0 до 25 Гц, не более 0,3 мм/с, в диапазоне частот от 25 до 4000 Гц, не более 0,03 мм/с, в диапазоне частот от 4000 до 20000 не более 0,003 мм/с (минимальное отношение сигнал/шум 12 дБ);
- при измерении виброперемещения в диапазоне частот от 1,0 до 20 Гц, не более 150 мкм (минимальное отношение сигнал/шум, 8 дБ для минимального сигнала 400 мкм), в диапазоне частот от 20 до 4000 Гц, не более 0,4 мкм (минимальное отношение сигнал/шум, 12 дБ для минимального сигнала 1,0 мкм).

11. Количество линий спектра 200, 400, 800, 1600. Максимальное разрешение по частоте 0,0625 Гц.

12. Погрешности частотного анализа:

- пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения частоты (Гц) $\pm 1/20$ частотного разрешения поддиапазона (с включенным режимом коррекции и при вычислении 400 линий спектра);
- пределы допускаемой дополнительной относительной погрешности измерения амплитуды от непопадания на среднюю частоту полосы анализа (спектр 400 линий, окно Ханна) с включенным режимом коррекции, $\pm 2\%$.

13. Переходное затухание между каналами, не менее 80 дБ в диапазоне частот от 1 до 20000 Гц.

14. Погрешности измерений в режиме "Балансировка":

- пределы допускаемой относительной погрешности измерения частоты вращения, $\pm 1\%$;
- пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения относительной фазы между измерениями ± 2 градуса.

					Описание и работа прибора	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

15. Питание прибора АДП-3101 от внутренних аккумуляторных батарей: от 5,5 до 7,5 В.

16. Потребляемый прибором АДП-3101 ток не более 350 мА, потребляемая мощность не более 2,5 Вт.

17. Масса прибора АДП-3101 не более 2 кг, масса прибора с транспортной тарой и принадлежностями не более 3,5 кг.

18. Габаритные размеры прибора АДП-3101 не более 250x180x42 мм.

19. Средняя наработка на отказ не менее 1500 часов; средний ресурс не менее 20000 часов; средний срок службы не менее 8 лет.

3.2 Состав прибора

Состав прибора АДП-3101 Представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Комплектация прибора АДП 3101

№ пп	Наименование	Количество, шт.
1	Прибор АДП-3101 в сборе ИНКО.100.170	1
2	Зарядное устройство CL25-7612	1
3	Программное обеспечение "АРМИД", загрузки прибора, балансировки	1
4	Кабель USB для связи с компьютером в сборе ИНКО.100.183	1
5	Руководство по эксплуатации АДП.3101.001 РЭ	1
6	Руководство пользователя программного обеспечения "АРМИД"	1
7	Сумка для переноски (покупное изделие)	1
8	Защитный чехол (покупное изделие)	1
9	Датчик пьезоэлектрический с кабелем антивибрационным 1,5 м и микро разъемами	2

					Описание и работа прибора	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

№ пп	Наименование	Количество, шт.
10	Магнит для крепления датчика СМ.3001.021	2
11	Кронштейн для установки 2-х вибродатчиков СМ.3001.032	1
12	Датчик оборотов ДО-01 в сборе ДО.2001М.001	1
13	Кабель датчика оборотов в сборе СМ.3001.029	1
14	Магнитная стойка в сборе СМ.3001.027	1

3.3 Устройство и принцип работы

Прибор АДП-3101 является портативным микропроцессорным устройством, представляет собой автономный анализатор вибрационных сигналов звукового диапазона частот, совмещает функции сборщика данных, диагностической системы и балансировочного прибора.

Прибор АДП-3101 имеет четыре измерительных входа, что обеспечивает одновременное подключение четырех вибропреобразователей. Сигналы с четырех измерительных входов с помощью встроенных управляемых ключей попарно подаются на два встроенные измерительные каналы, работающие синхронно. Каждый измерительный канал включает в себя: входной усилитель заряда, интегратор, предварительный усилитель, программируемый усилитель, фильтр высоких и низких частот.

Кроме четырех измерительных входов прибор имеет: универсальный вход, разъем подключения шины USB для связи с компьютером, разъем подключения зарядного устройства. Прибор имеет встроенный детектор выделения огибающей входных сигналов с пошагово переключаемыми фильтрами в диапазоне частот от 1,25 до 40 кГц (всего 32 фильтра).

Для проведения измерений к прибору АДП-3101 можно подключать:

высокоимпедансные пьезоакселерометры, пьезоакселерометры с

					Состав прибора	Лист
						34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

встроенными усилителями заряда, симметричные пьезоакселерометры, датчик оборотов (фазоотметчик), датчики или устройства переменного напряжения до 10 В СКЗ, устройства с плавно меняющимися (постоянными) сигналами на выходе.

Прибор АДП-3101 обеспечивает прием измеряемых сигналов, их аналого-цифровое и Фурье-преобразование, запоминание и хранение полученных функций, передачу данных в компьютер. При установке специального программного обеспечения в память прибора возможна автоматизированная диагностика неисправностей контролируемого объекта.

Прибор АДП-3101 выполнен в цельно фрезерованном корпусе из легкого сплава со специальным прочным покрытием, управление осуществляется с помощью мембранной клавиатуры и графического дисплея с разрешением 1/4 VGA.

Прибор АДП-3101 удовлетворяет требованиям ГОСТ 22261, и по условиям эксплуатации относится к 4-й группе (при климатических воздействиях) и к 3-й группе (при механических воздействиях) ГОСТ 22261.

Принцип работы прибора АДП-3101 основан на измерении и спектрально-корреляционной обработке сигналов в звуковом диапазоне частот 0,5...20000 Гц, поступающих с пьезопреобразователей (вибродатчиков) или других датчиков, установленных на исследуемом объекте. Внешний вид прибора, органы управления и подключения представлены на рисунке 5 и на рисунке 6.

					Устройство и принцип работы	Лист
						35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Рисунок 5 – Фронтальный вид прибора:

1- металлический корпус; 2- жидкокристаллический дисплей; 3- пленочная клавиатура управления; 4- 4-pin разъемы ОНЦ-БС-1-4 для подключения любых пьезоакселерометров и источников сигналов до 10 В; 5 - разъемы СР - 50 (BNC) для подключения любых пьезоакселерометров (кроме симметричных двухпроводных) и источников сигналов до 10 В; 6- 9-pin разъем подключения датчика оборотов, сигнала внешнего запуска, двух параметрических датчиков.

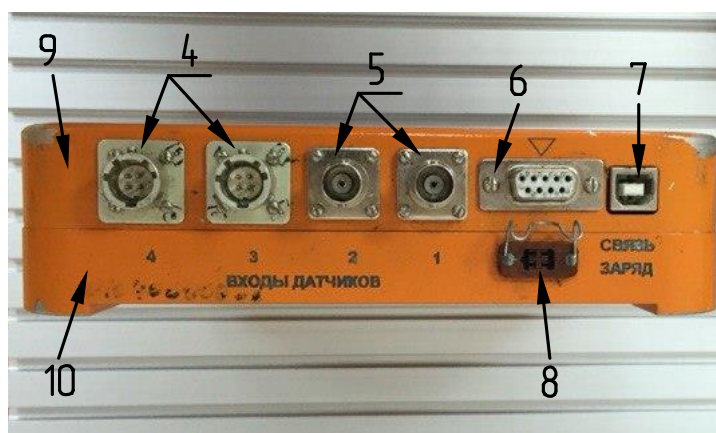


Рисунок 6 – Вид передней торцевой поверхности прибора (разъемы подключения)

4,5,6- с м. рис. 2.4.3.2; 7- разъем подключения шины USB для связи с компьютером; 8- разъем подключения зарядного устройства; 9- верхняя крышка прибора; 10- нижняя крышка прибора.

3.4 Особые условия эксплуатации

- применение устройства быстрой зарядки только поставляемого вместе с прибором;
- зарядку и/или замену аккумуляторной батареи осуществлять только вне взрывоопасных зон и при всех отключенных разъемах;
- прибор должен работать только от аккумуляторной батареи, входящей в комплект поставки, при работе во взрывоопасных зонах;
- запрещается подключать и проводить измерения с помощью вторичной аппаратуры при работе во взрывоопасных зонах;
- датчик ДО-01 при работе с прибором АДП-3101 может устанавливаться во взрывоопасных зонах класса 2 для подгруппы электрооборудования ПС;
- Устройство АДП-3101/В имеет низкую степень опасности механических повреждений корпуса по ГОСТ Р 51330.0.
- С устройством АДП-3101/В может применяться датчик ДО-01, который допускается устанавливать во взрывоопасных зонах класса 2 для подгруппы электрооборудования ПС;
- С устройством АДП-3101/В могут применяться вибропреобразователи, выполненные с видом взрывозащиты "искробезопасная цепь" по ГОСТ Р 51330.10 или "искробезопасное оборудование n" по ГОСТ Р 51330.14. Эти вибропреобразователи должны иметь возможность устанавливаться во взрывоопасных зонах помещений и наружных установок согласно гл. 7.3. ПУЭ и другим директивным документам, регламентирующим применение электрооборудования во взрывоопасных зонах;
- Вибропреобразователи должны иметь Разрешения Ростехнадзора РФ на применение. Входные напряжение и ток вибропреобразователей, а

					Устройство и принцип работы	Лист
						37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

также их внутренние индуктивность и электрическая емкость не должны превышать допустимых значений искробезопасных электрических цепей устройства АДП-3101/В.

Примечание: прибор предназначен для эксплуатации при температуре -10...+55оС и максимальной относительной влажности 90% (при температуре 25°С) во взрывоопасных зонах внутренних помещений и наружных установок. Работа прибора во взрывоопасных зонах осуществляется от внутренних аккумуляторных батарей, которые обеспечивают непрерывную работу прибора в течение не менее 8 часов. Не допускается работа во взрывоопасных зонах от сети 220В. Максимальный измеряемый сигнал переменного тока- 10 В (СКЗ).

3.5 Работа на промышленных объектах, установка датчиков

Для работы на промышленных объектах необходимо подготовить прибор к работе. Подсоединить кабели от датчиков вибрации к входам вибродатчиков (1,2,3,4) прибора.

Установить вибродатчики в соответствующие точки объекта измерения согласно выбранному маршруту (номера точек выводятся на дисплей прибора) или в требуемые точки при инициативных измерениях вне маршрута.

Установка вибродатчиков производится с помощью магнитов или специального кронштейна на объект. Предварительно необходимо очистить металлическую поверхность места установки от краски, ржавчины, грязи и т.п.; убедиться, что контакт магнита с поверхностью максимально плотный и надежный.

На неметаллических конструктивных элементах для установки датчиков использовать мастику или воск. Если в каком-либо месте установка на мастику невозможна, например, на горячий объект, то установить датчик на клей или с помощью специального крепления. Также предварительно очистить поверхность места установки от краски, ржавчины, грязи и т.п.;

					Устройство и принцип работы	Лист
						38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

проконтролировать, чтобы контакт датчика с объектом был максимально плотным и надежным.

При установке вибродатчиков в зоны с повышенной температурой (горячий обдув и т.п.) следить, чтобы они не перегревались. Перегрев приводит к перегрузке входных каскадов прибора, т.к. при повышенной температуре чувствительность датчиков резко возрастает. Перегрев также приводит к повреждениям кабеля от датчиков. Объекты с температурой поверхности выше 100°C часто являются причиной повреждения длинных кабелей от датчиков, поэтому при установке датчиков необходимо следить за безопасной прокладкой кабеля.

Включить питание прибора клавишей "ВКЛ", выбрать необходимое задание маршрута или установить конфигурацию измерения.

Проверить правильность установки чувствительности применяемых вибродатчиков. Запустить процесс измерений клавишей Enter.

3.6 Управление режимами работы

Идеология управления прибором состоит в том, что существует две возможности проведения измерений:

1. С привязкой к объекту исследования (в базе данных "АРМИД");
2. Без привязки к объекту.

Первая реализуется после загрузки объектов исследования из базы данных "АРМИД", установленной и хранящейся на компьютере, и выбора режима измерения; вторая может быть реализована простым включением прибора и установкой требуемых режимов измерения.

В первом случае после включения прибора требуется выбрать объект, выбрать (или установить) чувствительность применяемых датчиков, и затем выбрать режим измерения.

					Устройство и принцип работы	Лист
						39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Во втором случае, достаточно всего лишь выбрать (или установить) чувствительность применяемых датчиков, и затем выбрать режим измерения.

В любом случае после включения питания прибора на дисплее появляется Главное меню, состоящее из следующих пунктов:

- Выбор объекта;
- Анализ;
- Балансировка;
- Старт-стоп;
- Выбор датчиков;
- Выход.

Для выбора пункта меню, с помощью клавиш стрелка вверх, стрелка вниз или цифровой клавиши, соответствующей пункту меню установить курсор на нужный пункт и нажать клавишу Enter.

При работе с контролируемыми объектами, загруженными из базы, перед началом проведения измерений по маршруту необходимо выбрать объект измерения и выбрать нужные датчики. Для выбора объекта измерения войти в пункт меню Выбор объекта. После выбора данного пункта на дисплее появится список объектов измерения, загруженных ранее в прибор из базы данных, расположенной на компьютере. Выбрать нужный объект и нажать клавишу Enter. Для отказа от выбора нажать клавишу Esc или выбрать другой пункт и нажать Enter.

Далее выбрать пункт меню Выбор датчиков. На дисплее будет показан список каналов прибора с установленными ранее датчиками. Выбрать канал, для которого нужно ввести датчик. Из предложенного списка датчиков (Список датчиков загружается из базы данных) выбрать нужный и нажать Enter. При этом в списке отображается название датчика, его чувствительность и код типа (0 - несимметричный, 1 - симметричный, 2 - датчик со встроенным усилителем, 3 - прямой вход). Прodelать эту операцию со всеми каналами,

					Управление режимами работы	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

которые будут использоваться в процессе измерения. После установки всех датчиков прибор готов к проведению измерений.

Редактирование чувствительности датчиков.

Для редактирования чувствительности датчиков необходимо войти в список датчиков, установить курсор на любом датчике, нажать клавишу "+", клавишей "←" удалить текущее значение чувствительности, ввести нужную чувствительность, нажать клавишу "Enter" и выбрать тип датчика (для коаксиального разъема обычно "несимметричный"). Название датчика остается прежним.

После проведения редактирования датчик можно выбрать из списка.

Все настройки далее сохраняются после выключения/включения прибора и не требуют каждый раз повторной переустановки. Эта необходимость возникает только в случае изменения параметров настройки.

Далее выбрать режим проведения измерения: Анализ, Балансировка или Старт-стоп.

Режим Анализ.

После выбора меню Анализ на дисплее открывается меню данного режима, состоящее из следующих пунктов:

- Новый маршрут;
- Выбор маршрута;
- Диагностика;
- Виброконтроль;
- Параметрия;
- Инициативный режим.

В режиме Анализ измерения можно проводить по маршруту или в инициативном режиме (без привязки к объекту).

					Управление режимами работы	Лист
						41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Для проведения измерения по маршруту необходимо выбрать ранее загруженный из базы данных маршрут для текущего объекта измерения. Для этого выбрать пункт Новый маршрут и из предложенного списка маршрутов выбрать нужный. После выбора маршрута на дисплее открывается список заданий данного маршрута. Выбрать задание, с которого будет проводиться работа по маршруту. Далее на дисплее открывается карточка задания маршрута, где указаны объект измерения, наименование маршрута, номер задания и их количество в маршруте, номера точек, в которых будут проводиться измерения. В нижней части дисплея показаны служебные клавиши, с помощью которых можно начать измерение и просмотреть результаты измерения.

Enter - провести измерение;

Up, Down – перемещение по заданиям;

1 – вывести список заданий и перейти к нужному;

2 – выбрать датчик для каждого канала;

3 – включить/выключить режим коррекции;

4 – просмотреть график выполненного измерения;

5 – вывести 8 максимумов измеренной функции (переключение каналов - "←", "→").

После проведения измерения отображается график измеренной функции по первому выбранному каналу. После просмотра графика для продолжения нужно нажать клавишу Esc. Если измерение проводилось по нескольким каналам, будет показан график следующего канала. По завершению просмотра графиков всех задействованных каналов по текущему заданию в карточке появляется запись ****ВЫПОЛНЕНО**** с показом общих уровней вибрации. Для выхода из режима работы по маршруту необходимо нажать на клавишу Esc.

					Управление режимами работы	Лист
						42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Пункт меню Выбор маршрута предназначен для проведения работ по ранее выбранному маршруту. После выбора данного пункта открывается список ранее выбранных маршрутов текущего объекта (в режиме Новый маршрут). После выбора нужного маршрута открывается список заданий для выбора нужного. После выбора задания можно посмотреть ранее измеренный график или провести повторное измерение по данному заданию. При этом предыдущее измерение по данному заданию не сохраняется и будет заменено.

После выполнения всех заданий маршрута можно провести диагностику состояния объекта, по ранее загруженным из базы данных методикам. Для этого выбрать пункт Диагностика и далее выбрать методику диагностирования данного объекта. После проведения диагностики на дисплее будут показаны результаты диагностики.

Пункт меню Виброконтроль предназначен для непрерывного измерения вибрации на объекте до нажатия клавиши Esc. В данном режиме возможно изменение параметров измерения, выбор датчиков и сохранение последнего замера.

Пункт меню Параметрия является вспомогательным и предназначен для ввода значений параметрии (скалярных параметров), характерных для текущего объекта измерения. Список параметров загружается из базы данных. Значения параметрии могут использоваться при диагностике текущего объекта.

Пункт меню Инициативный режим предназначен для проведения измерения вне маршрута (в инициативном режиме), в соответствии с параметрами, заданными вручную. При выборе данного пункта меню открывается карточка инициативного режима, где указаны объект измерения, номера точек, в которых будет проводиться измерение. В нижней части дисплея показаны служебные клавиши, с помощью которых можно начать измерение и просмотреть результаты:

					Управление режимами работы	Лист
						43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Enter - провести измерение;

1 – просмотр и изменение параметров измерения;

2 – выбрать датчик для каждого канала;

3 – включить/выключить режим коррекции;

4 – просмотреть график после измерения;

5 – вывести 8 максимумов измеренной функции (переключение каналов - "←", "→");

6 – сохранение результатов измерения;

8 – просмотр списка ранее выполненных измерений в инициативном режиме и выбор измерения для просмотра.

Пункт меню Параметры предназначен для настройки режима инициативного анализа. При выборе данного пункта на дисплей выводится список параметров и их значений, установленных ранее или принятых по умолчанию. Для изменения значения параметра выбрать параметр и нажать клавишу Enter. Далее откроется список возможных значений этого параметра. Выбрать нужный и нажать Enter.

					Управление режимами работы	Лист
						44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4. Расчётная часть неисправностей центробежных машин

4.1 Расчёт дисбаланса центробежной машины

Для получения необходимой информации для расчёта дисбаланса центробежной машины были применены следующие приборы и механизмы:

- Центробежная машина;
- Прибор АДП-3101;
- Датчик оборотов ДО-01;
- Магниты для крепления датчика;
- Датчик пьезоэлектрический с кабелем антивибрационным 1,5 м и микро разъемами;
- Кабель USB для связи с компьютером в сборе;
- Программное обеспечение “АРМИД”, загрузки прибора, балансировки.

Величина силы инерции (центробежной силы) зависит от частоты вращения или ускорения при поступательном движении, так же эти величины являются переменными, в отличие от радиуса вращения и массы груза. Величину силы инерции согласно [1] определяют по формуле:

$$F = m \cdot r \cdot \omega^2 \quad (1)$$

где:

m – неуравновешенная масса, кг;

r – радиус вращения, м;

ω – угловая скорость вращения, рад/с.

Экспериментально были определены частота вращения n , замерена масса груза m и радиус вращения при измерении в 1 точке, данные приведены в таблице 5.

					Анализ и мониторинг неисправностей центробежных машин			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Радченко Д.В.			Расчётная часть неисправностей центробежных машин	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Рудаченко В.А.					45	92
Консульт.						Кафедра транспорта и хранения нефти и газа Группа 2Б2Б		
Зав. Каф.								

Таблица 5 – Экспериментальные данные

1 точка измерения	m, кг	r, м	ν , Гц
1	0,002	0,05	51,2
2	0,004	0,05	51,2
3	0,006	0,05	51,2
4	0,008	0,05	51,2
5	0,010	0,05	51,2
1 точка измерения	m, кг	r, м	ν , Гц
6	0,012	0,05	51,2
7	0,014	0,05	51,2
8	0,016	0,05	51,2
9	0,018	0,05	51,2
10	0,02	0,05	51,2
1 точка измерения	m, кг	r, м	ν , Гц
1	0,002	0,035	51,2
2	0,004	0,035	51,2
3	0,006	0,035	51,2
4	0,008	0,035	51,2
5	0,010	0,035	51,2
6	0,012	0,035	51,2
7	0,014	0,035	51,2
8	0,016	0,035	51,2
9	0,018	0,035	51,2
10	0,02	0,035	51,2

Далее для удобства расчёта перевели частоту вращения в угловую скорость вращения. В расчёте силы инерции будет использоваться угловая скорость, масса и радиус. В таблице 6 представлен расчёт силы инерции для радиуса вращения 0,05 м.

Таблица 6 – Расчёт силы инерции для радиуса вращения 0,05 м

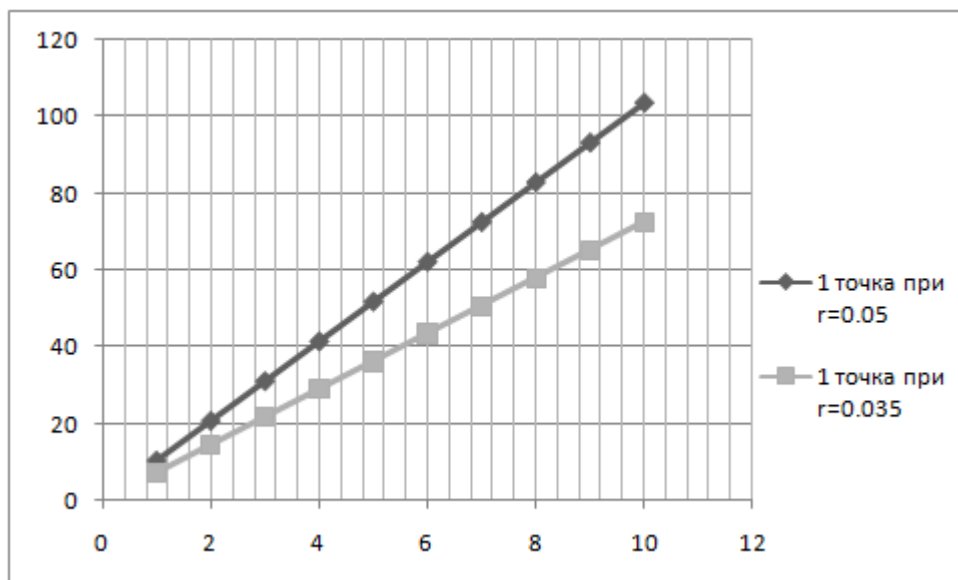
1 точка измерения				
№ пп	m, кг	r, м	ω , рад/с	F, Н
1	0,002	0,05	321,6991	10,35
2	0,004	0,05	321,6991	20,69
3	0,006	0,05	321,6991	31,05
4	0,008	0,05	321,6991	41,39
5	0,010	0,05	321,6991	51,75
6	0,012	0,05	321,6991	62,09
7	0,014	0,05	321,6991	72,44
8	0,016	0,05	321,6991	82,79
9	0,018	0,05	321,6991	93,14
10	0,02	0,05	321,6991	103,49

Расчёт силы инерции для первой точки при радиусе $r=0.035$ м представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Расчёт силы инерции для радиуса вращения 0,035 м

1 точка измерения				
№ пп	m, кг	r, м	ω , рад/с	F, Н
1	0,002	0,035	321,69	7,24
2	0,004	0,035	321,69	14,49
3	0,006	0,035	321,69	21,73
4	0,008	0,035	321,69	28,97
5	0,010	0,035	321,69	36,22
6	0,012	0,035	321,69	43,47
7	0,014	0,035	321,69	50,71
8	0,016	0,035	321,69	57,95
9	0,018	0,035	321,69	65,19
10	0,02	0,035	321,69	72,44

Далее строится график зависимости для первой точки измерения при радиусах $r=0.05$ м и $r=0.035$ м.



На графике наблюдается прямолинейная зависимость силы инерции от массы груза. Чем больше масса груза, тем больше увеличивается сила инерции и соответственно увеличивается вибрация центробежной машины. Измерения велись при частоте диапазона 100 Гц, нижняя частота 10 Гц. Запуск синхронный, функция временная.

В ходе эксперимента были замерены вибрации по оси x, y и z. При отсутствии дисбаланса и при дисбалансе. Данные приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Замер вибрации при дисбалансе и без

1 точка измерения			
Наименование	x	y	z
Вибрация без груза, мм/с	0,71	0,51	0,54
Вибрация с грузом, мм/с	0,81	1,63	2,9

Спектр по оси Y при частоте диапазона 1000 Гц для первой точки измерения без груза представлен на рисунке 7 и с грузом на рисунке 8.

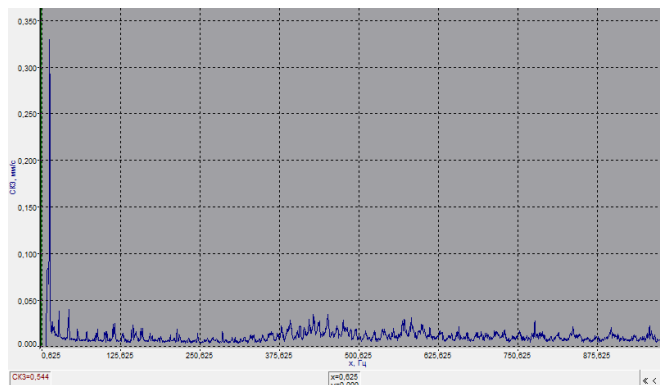


Рисунок 7 – Спектр при частоте диапазона 1000 Гц без дефекта

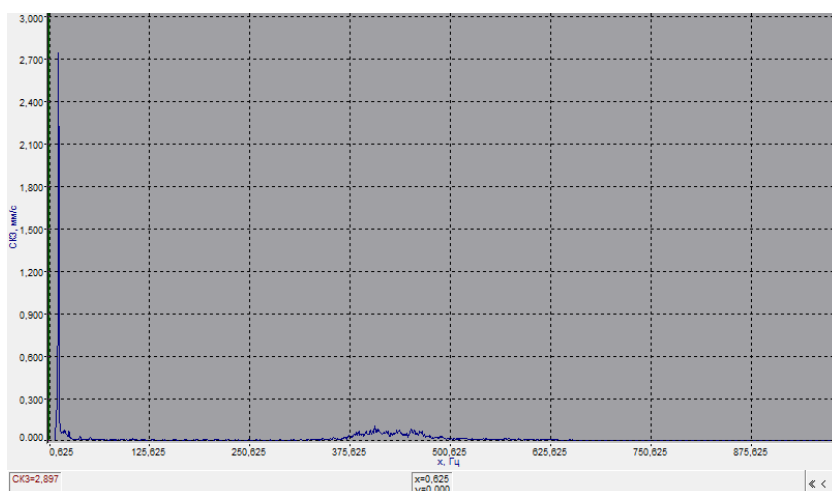


Рисунок 8 – Спектр при частоте диапазона 1000 Гц с дефектом

Так же для дисбаланса экспериментально были определены частота вращения n , замерена масса груза m , радиус вращения r и рассчитана сила инерции для разных масс груза вызывающая дисбаланс во 2 точке, данные приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Расчёт силы инерции 2 точки для радиуса вращения 0,05 м

2 точка измерения				
№ пп	m , кг	r , м	ω , рад/с	F , Н
1	0,002	0,05	321,0708	10,31
2	0,004	0,05	321,0708	20,62
3	0,006	0,05	321,0708	30,93
4	0,008	0,05	321,0708	41,23
5	0,010	0,05	321,0708	51,54
6	0,012	0,05	321,0708	61,85
7	0,014	0,05	321,0708	72,16
8	0,016	0,05	321,0708	82,47
9	0,018	0,05	321,0708	92,78
10	0,02	0,05	321,0708	103,09

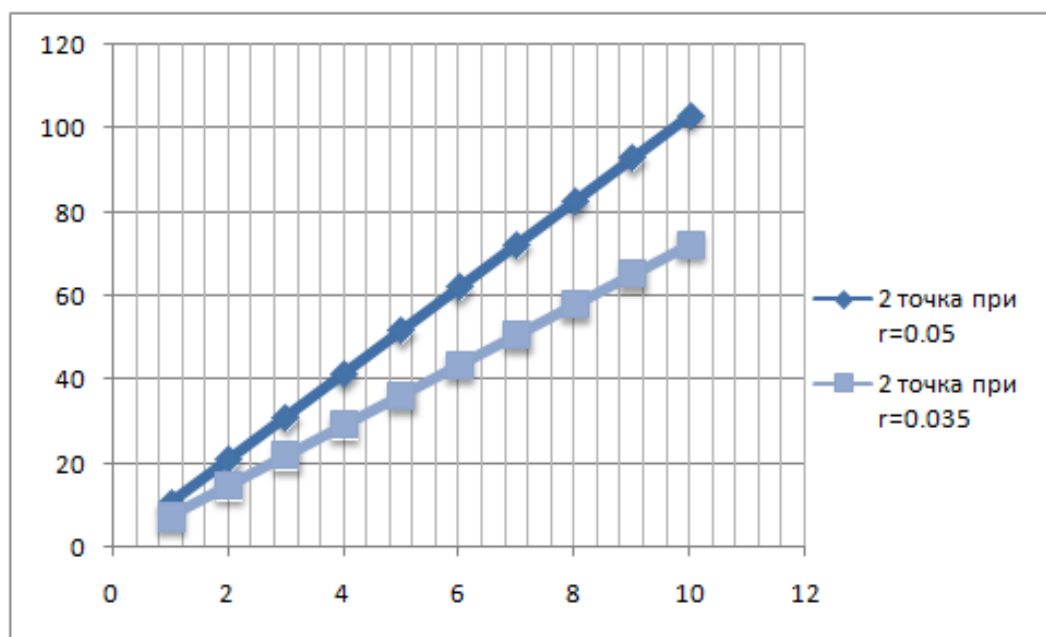
Расчёт силы инерции для второй точки при радиусе $r=0.035$ м и $\omega=321,07$ рад/с представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Расчёт силы инерции 2 точки для радиуса вращения 0,035 м

2 точка измерения				
№ пп	m , кг	r , м	ω , рад/с	F , Н
1	0,002	0,035	321,0708	7,22

2 точка измерения				
№ пп	m, кг	r, м	ω , рад/с	F, Н
2	0,004	0,035	321,0708	14,43
3	0,006	0,035	321,0708	21,65
4	0,008	0,035	321,0708	28,86
5	0,010	0,035	321,0708	36,08
6	0,012	0,035	321,0708	43,29
7	0,014	0,035	321,0708	50,51
8	0,016	0,035	321,0708	57,73
9	0,018	0,035	321,0708	64,94
10	0,02	0,035	321,0708	72,16

Далее строится график зависимости для второй точки измерения при радиусах $r=0.05$ м и $r=0.035$ м для наглядности изменения силы инерции от радиуса вращения при одной угловой скорости.



На графике наблюдается прямолинейная зависимость силы инерции от массы груза при радиусах 0,05 и 0,035 м. Если масса груза возрастает, то сила инерции возрастает и соответственно увеличивается вибрация центробежной машины. Измерения велись при частоте диапазона 100 Гц, нижняя частота 10 Гц. Запуск синхронный, функция временная.

В ходе эксперимента была замерена вибрация по оси x, y и z. При отсутствии дисбаланса и при дисбалансе. Данные приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Замер вибрации при дисбалансе и без

2 точка измерения			
Наименование	x	y	z
Вибрация без груза, мм/с	0,49	0,46	0,9
Вибрация с грузом, мм/с	0,7	1,17	2,7

Спектр по оси Y при частоте диапазона 1000 Гц для первой точки измерения без груза представлен на рисунке 9 и с грузом на рисунке 10. По данному спектру можно увидеть разницу вибрации для второй точки измерения при уравновешенном состоянии и при дисбалансе. На рисунке 9 видно, что вибрация при уравновешенном состоянии много меньше чем при дисбалансе вала рисунок 10. Дисбаланс может привести к ухудшению работоспособности установки т.к. вибрации передаются на подшипники, фундамент установки и на двигатель. Из-за повышенных вибраций происходит смещение вала относительно двигателя и увеличиваются потери. Вал центробежной машины сложнее вывести на необходимую мощность, при которой будет максимальный КПД.

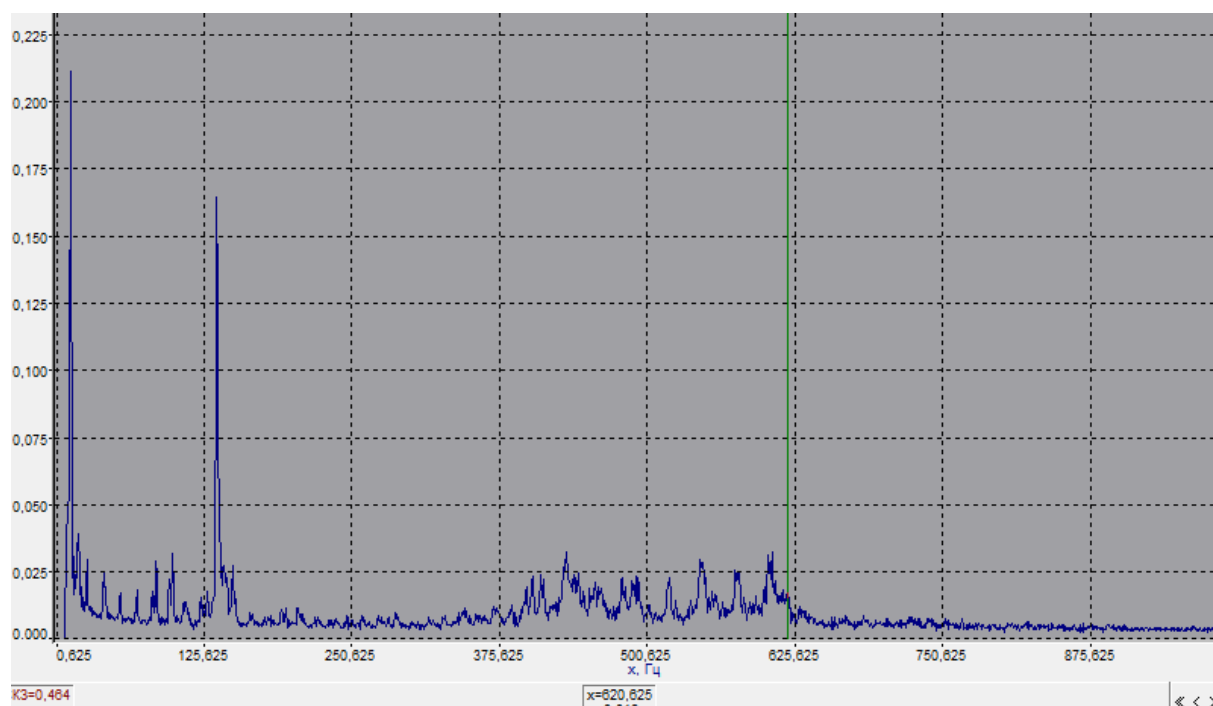


Рисунок 9 – Спектр при частоте диапазона 1000 Гц без дефекта

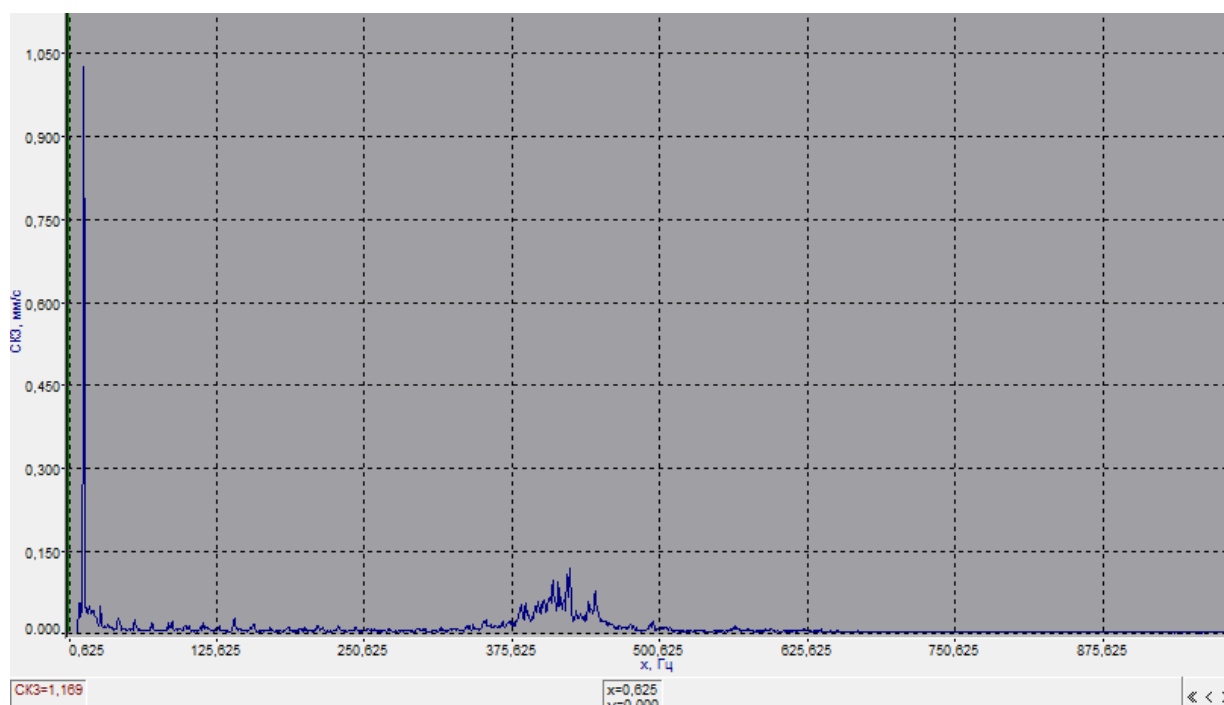


Рисунок 10 – Спектр при частоте диапазона 1000 Гц с дефектом

Вывод: Исследование показало, что при появлении дисбаланса центробежной машины увеличение вибрации происходит прямо пропорционально массе груза и радиуса, на котором прикреплен груз. Большую важность при эксперименте играет настройка датчиков, которые измеряют вибрации и количество оборотов. При максимальной частоте вращения установки в 51,4 Гц (3084 об/мин), датчик оборотов ДО-01 лучше настраивать на диапазон 100 Гц при нижней частоте 10 Гц. Так как при установке этого же датчика на диапазон 20 кГц при нижней частоте вращения 10 Гц увеличивается погрешность измерения. Так же для настройки пьезоэлектрического датчика необходимо устанавливать диапазон 1 кГц при нижней частоте 10 Гц так, как если при настройке установить диапазон 20 кГц возникает проблема чувствительности датчика и невозможно определить точную вибрацию установки.

4.2 Анализ вибрации при дефекте подшипника

Для данного эксперимента необходимо замерить вибрацию на подшипниках при отсутствии дефекта и при деформации подшипника. На центробежной машине установлены два подшипника марки 6204z. В подшипнике 6204z находится 8 шариков. Так для определения дефекта

необходимо измерить вибрацию подшипника без деформации, количество оборотов в секунду умножить на количество шариков и на графике при получившемся числе оборотов в секунду без дефекта не будет появляться дополнительная гармоника. Если же подшипник деформирован, то если количество оборотов в секунду также умножить на количество подшипников на графике будет наблюдаться гармоника на том числе оборотов что мы получим. На рисунке 11 показан график первого подшипника без деформаций.

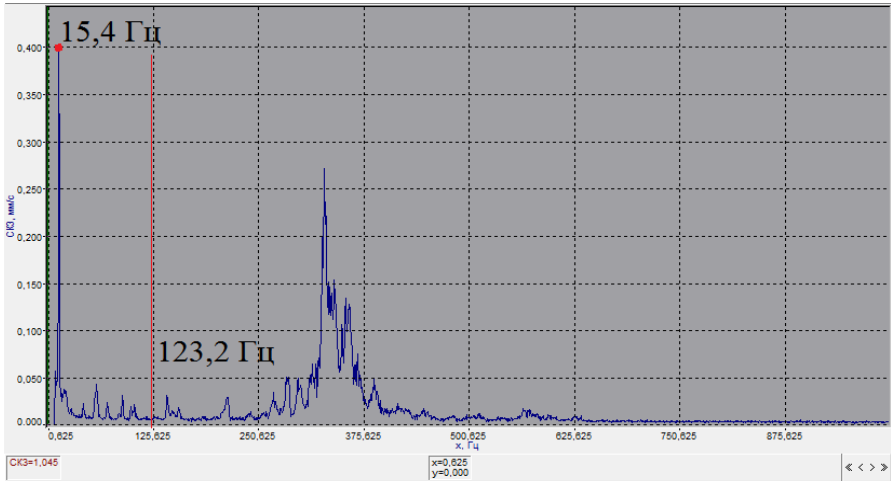


Рисунок 11 – Форма сигнала вибрации работающей центробежной машины на частоте 15,4 Гц для первого подшипника без дефекта

На графике можно наблюдать что при частоте вращения 15,4 Гц в области 123,2 Гц нет гармоник, это значит, что подшипник не имеет деформации. Пример деформированного подшипника представлен на рисунке 11.

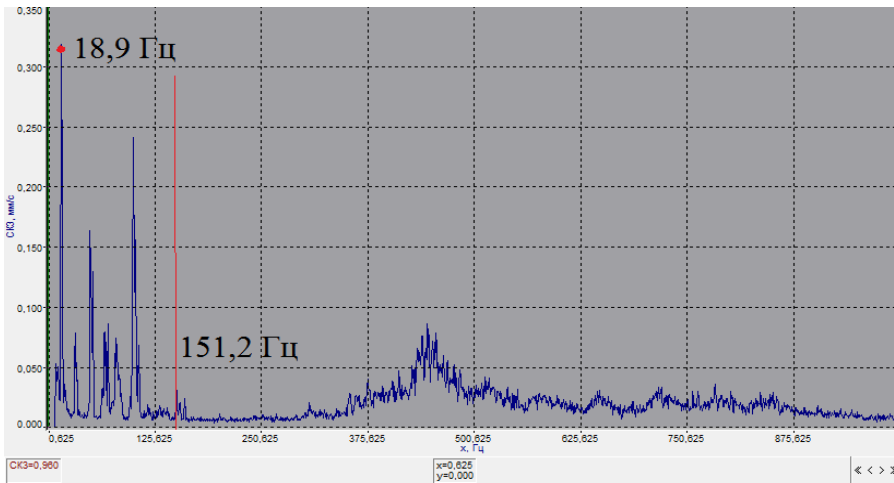


Рисунок 12 – Форма сигнала вибрации работающей центробежной машины на частоте 18,9 Гц для первого подшипника без дефекта

На рисунке 12 при 151,2 Гц наблюдается появление гармоник. На графике при частоте вращения 18,9 Гц у подшипника 6204z появляется гармоника на частоте 151,2 Гц. При появлении гармоник в этой частоте вращения можно судить, что есть какое-то повреждение, а именно деформация подшипника.

Для второго подшипника так же проведён эксперимент при рабочем состоянии и при деформации. На рисунке 13 показан график работающего подшипника без деформации. При частоте вращения 16,1 Гц.

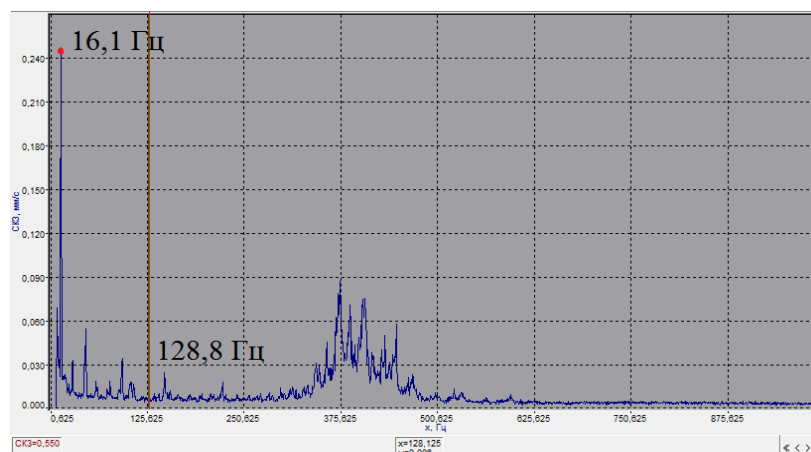


Рисунок 13 – Форма сигнала вибрации работающей центробежной машины на частоте 16,1 Гц для второго подшипника без дефекта

На графике можно наблюдать что при частоте вращения 16,1 Гц в области 128,8 Гц нет гармоник, это значит, что подшипник не имеет деформации. Пример второго деформированного подшипника представлен на рисунке 14.

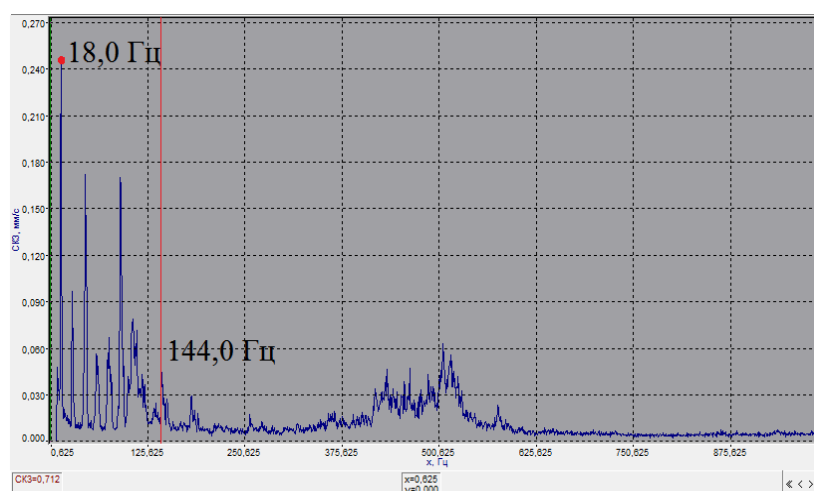


Рисунок 14 – Форма сигнала вибрации работающей центробежной машины на частоте 18,0 Гц для второго подшипника с дефектом

При появлении деформации на графике при частоте вращения 18,0 Гц у подшипника на частоте 144,0 Гц появляется гармоника. Так же при дефекте подшипника появляется вибрация центробежной машины.

Вывод: Лабораторное исследование показало, что при определённой частоте вращения без дефекта подшипника на графике не будет появляться дополнительная гармоника т.к. центробежная машина работает устойчиво. Но при деформации подшипника на графике появляется гармоника на частоте вращения умноженной на 8 т.к. в подшипнике 6204z по ГОСТ 7242-81 находится 8 шариков. По появлению гармоники можно определить, что подшипник деформирован и требуется замена. Так же необходимо настроить пьезоэлектрический датчик на диапазон 1 кГц, нижняя частота при этом должна быть 10 Гц для более точного измерения. На первом подшипнике вибрация без дефекта составила 0,74 мм/с, а с дефектом 0,86 мм/с. Для второго подшипника вибрация без дефекта составила 0,55 мм/с, а с деформацией подшипника 0,71 мм/с. При деформации подшипника возникает вибрация, которая ухудшает работоспособность центробежной машины, что может привести к аварийной остановке и финансовым потерям если вовремя не заменит подшипник.

4.3 Анализ вибрации перекосе вала относительно двигателя

Для нормальной работы подшипников и самой электрической машины соединяемые валы электрической машины и приводного механизма должны составлять единый вал. Вал электрической машины и приводного механизма соединены муфтой. При перекосе вала относительно двигателя появляется вибрация, которая может привести к износу подшипников и муфты соединяющей вал электрической машины с валом центробежной машины. При перекосе вала образуются вибрации в трёх пространственных плоскостях. При эксперименте были измеряны вибрации в трёх направлениях x и y рисунок 15.

					Анализ вибрации при дефекте подшипника	Лист
						55
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

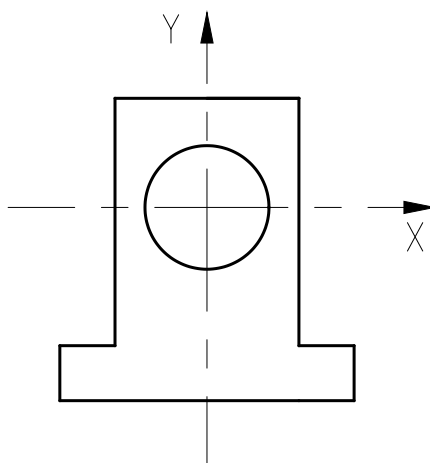


Рисунок 15 – Вибрации в двух пространственных положениях

Вибрации были измерены на электрической машине, на первом подшипнике и на втором подшипнике рисунок 16.



Рисунок 16 – Места замера вибрации

Измерение вибрации электрической машины:

Перед измерением вибрации по осям x и y необходимо настроить пьезоэлектрические датчики. Диапазон измерения установить 1 кГц при нижней частоте 10 Гц, установить функцию спектр и поставить количество линий 1600. Запуск установить свободный. Настроить датчики для двух каналов. Далее проводится измерение вибрации по оси x и y . Измеренные данные занесены в таблицу 12.

					Анализ вибрации перекося вала относительно двигателя	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

Таблица 12 – Замеры вибрации на электродвигателе

Вибрация первой точки	X	Y
Без перекоса вала, мм/с	0,85	0,44
С перекосом вала, мм/с	0,98	0,52

При работе вала на одной оси с электрической машиной вибрации на частоте вращения 14,4 Гц меньше чем при работе с перекосом вала. На рисунке 17 показан график при работе без перекоса вала и на рисунке 18 показан график при работе центробежной машины с перекосом вала. По оси x график вибрации изображён на рисунке 19 без дефекта и с дефектом на рисунке 20.

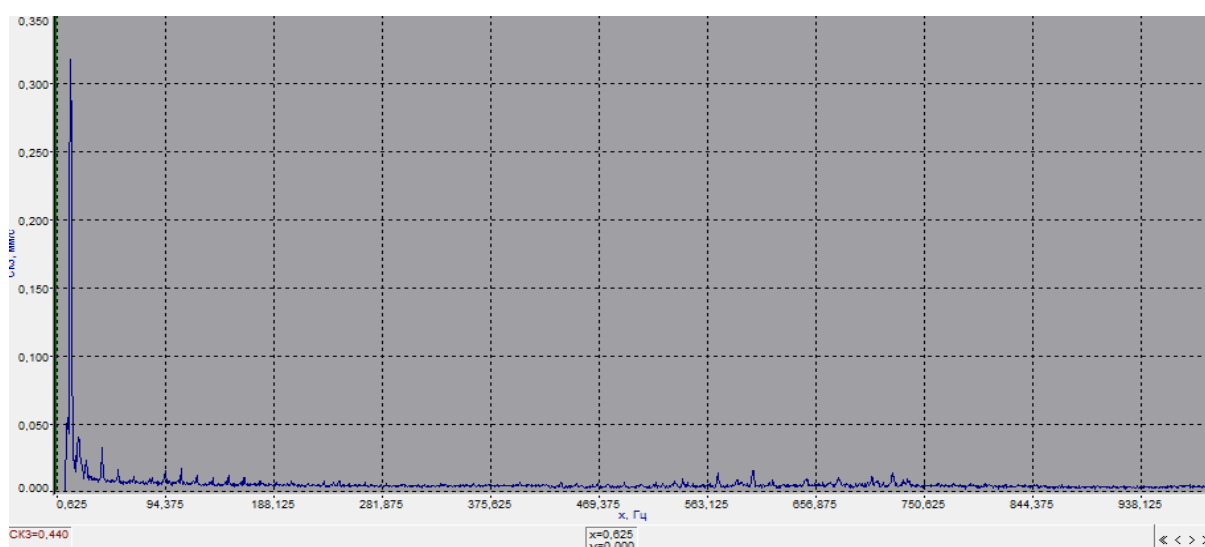


Рисунок 17 – Форма сигнала вибрации работающей центробежной машины на частоте 14,4 Гц для первой точки измерения без перекоса вала по оси Y

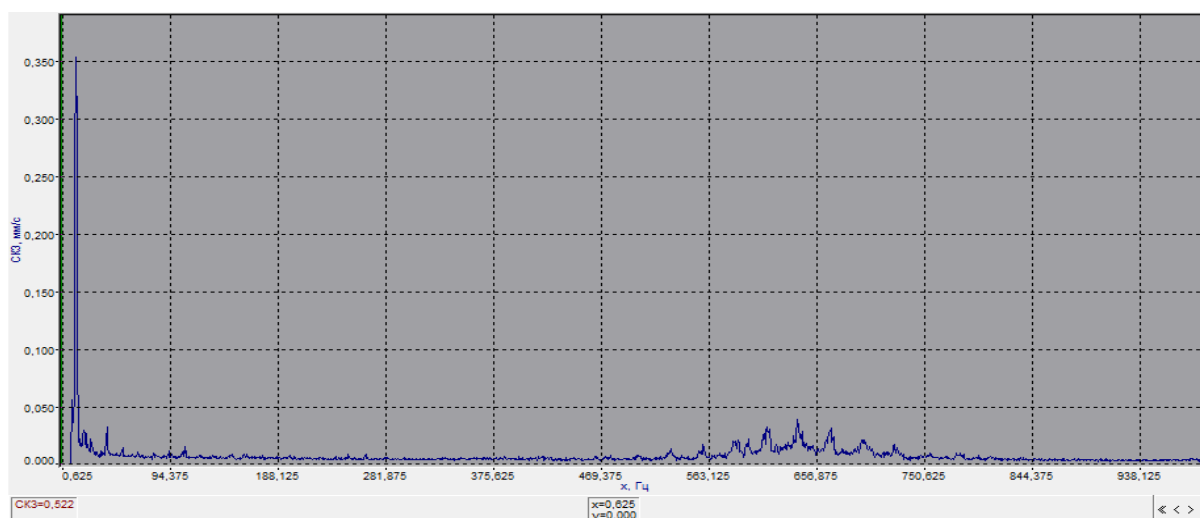


Рисунок 18 – Форма сигнала вибрации работающей центробежной машины на частоте 14,4 Гц для первой точки измерения при перекосе вала по оси Y

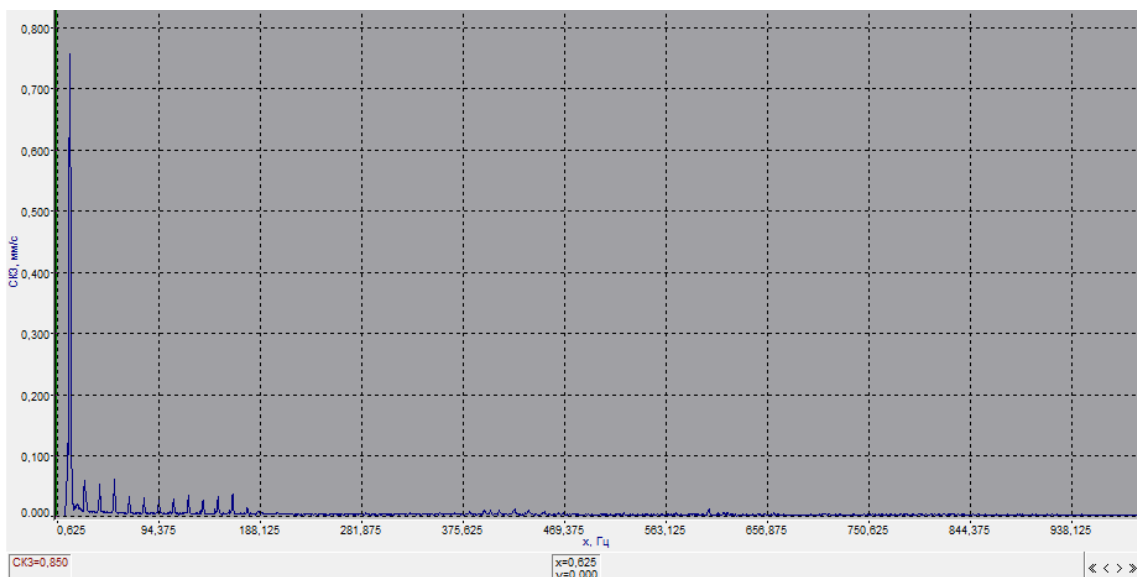


Рисунок 19 – Форма сигнала вибрации работающей центробежной машины на частоте 14,4 Гц для первой точки измерения без перекоса вала по оси X

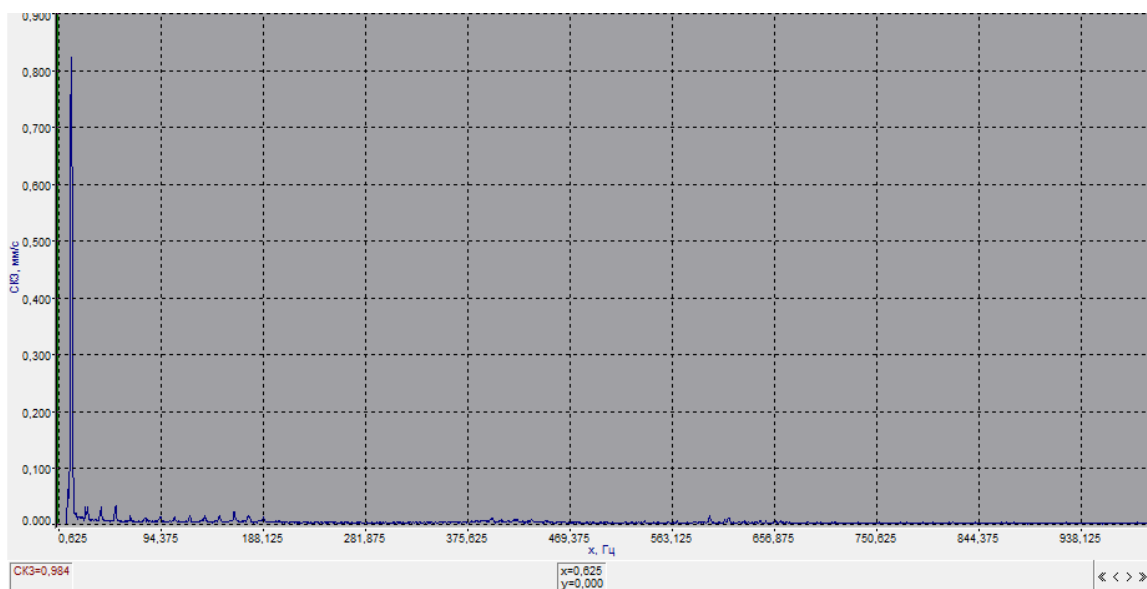


Рисунок 20 – Форма сигнала вибрации работающей центробежной машины на частоте 14,4 Гц для первой точки измерения при перекосе вала по оси X

Измерение вибрации на подшипнике во второй точке

Пьезоэлектрические датчики устанавливаются на корпус первого подшипника во второй точке измерения. И при частоте вращения 15,2 Гц производится замер вибрации по оси x и y, данные заносятся в таблицу 13.

Таблица 13 – Измеренные вибрации на первом подшипнике

Вибрация второй точки	X	Y
Без перекоса вала, мм/с	1,31	0,87
С перекосом вала, мм/с	1,3	0,94

При работе вала на частоте 15,2 Гц вибрация вала меньше при вращении без перекоса. Форма сигнала при вращении вала без перекоса изображена на рисунке 21 и при вращении вала с перекосом на рисунке 22 по координате Y.

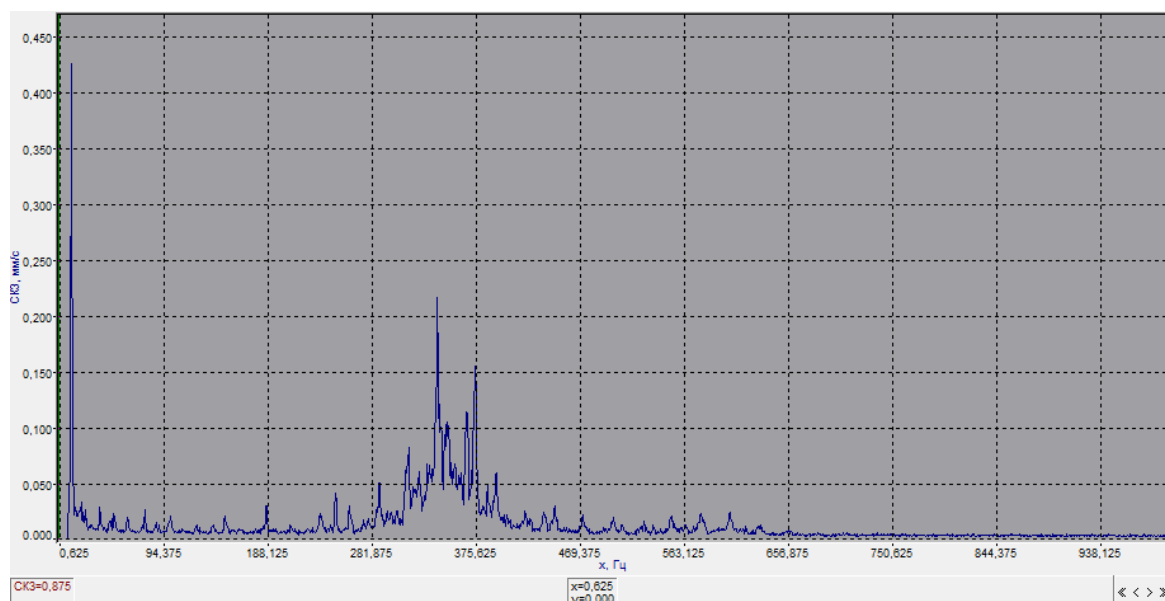


Рисунок 21 – Форма сигнала вибрации работающей центробежной машины на частоте 15,2 Гц для второй точки измерения без перекоса вала по оси Y

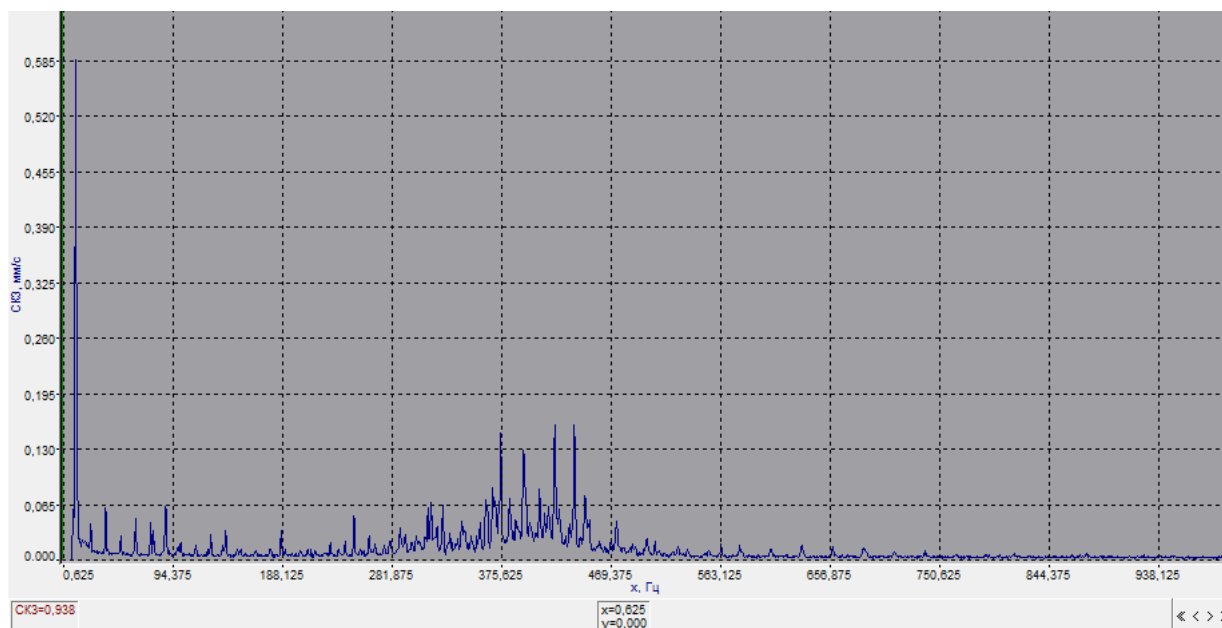


Рисунок 22 – Форма сигнала вибрации работающей центробежной машины на частоте 15,2 Гц для второй точки измерения с перекосом вала по оси Y
Далее форма сигнала без перекоса вала по оси X показан на рисунке 23 и при перекосе вала на рисунке 24.

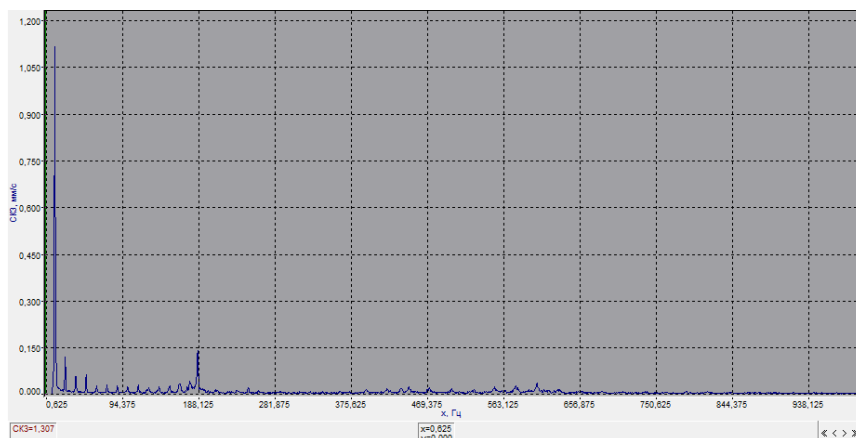


Рисунок 23 – Форма сигнала вибрации работающей центробежной машины на частоте 15,2 Гц для второй точки измерения без перекоса вала по оси X

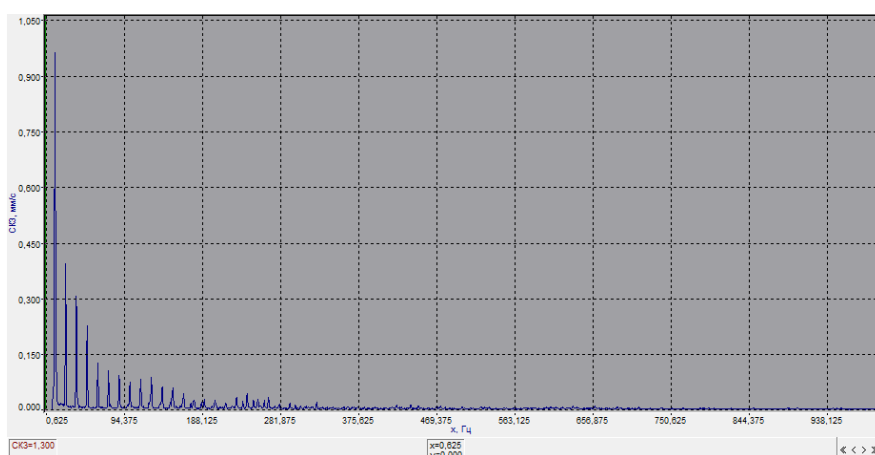


Рисунок 24 – Форма сигнала вибрации работающей центробежной машины на частоте 15,2 Гц для второй точки измерения с перекосом вала по оси X

Измерение вибрации на подшипнике в третьей точке

Пьезоэлектрические датчики устанавливаются на корпус второго подшипника в третьей точке измерения. И при частоте вращения 13,5 Гц производится замер вибрации по оси x и y, данные заносятся в таблицу 14.

Таблица 14 – Измеренные вибрации на первом подшипнике

Вибрация третьей точки	X	Y
Без перекоса вала, мм/с	1,25	0,5
С перекосом вала, мм/с	1,54	0,58

При работе вала на частоте 13,5 Гц вибрация вала меньше при вращении без перекоса. Форма сигнала при вращении вала без перекоса изображена на рисунке 25 и при вращении вала с перекосом на рисунке 26 по координате Y.

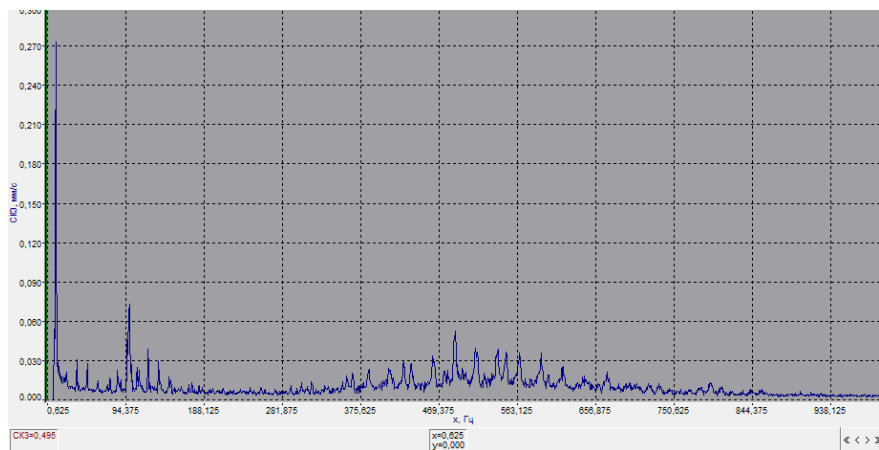


Рисунок 25 – Форма сигнала вибрации работающей центробежной машины на частоте 13,5 Гц для второй точки измерения без перекоса вала по оси Y

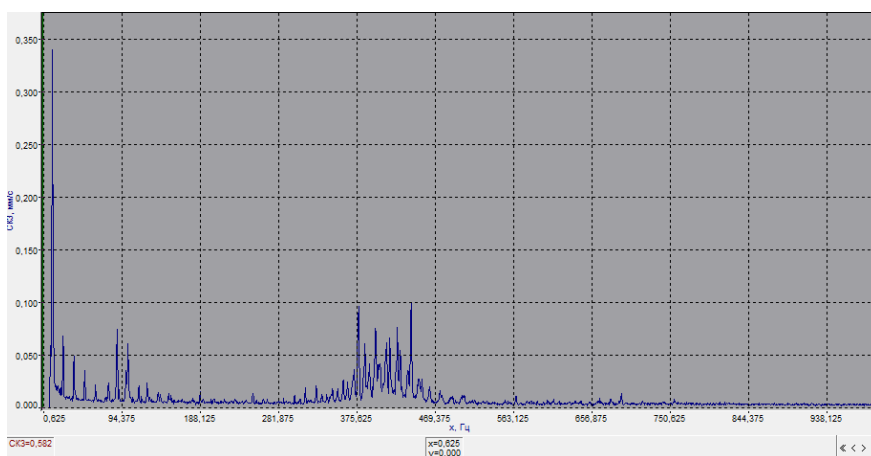


Рисунок 26 – Форма сигнала вибрации работающей центробежной машины на частоте 13,5 Гц для второй точки измерения с перекосом вала по оси Y

Далее форма сигнала без перекоса вала по оси X показана на рисунке 27 и при перекоме вала на рисунке 28.

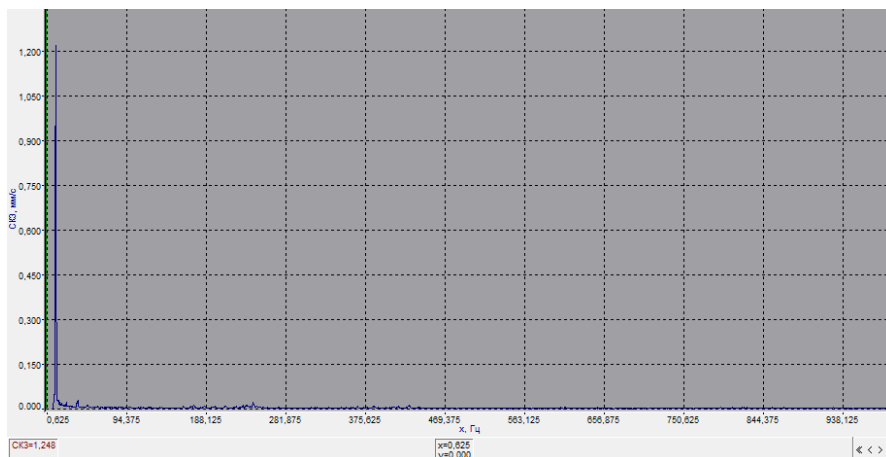


Рисунок 27 – Форма сигнала вибрации работающей центробежной машины на частоте 13,5 Гц для второй точки измерения без перекоса вала по оси X

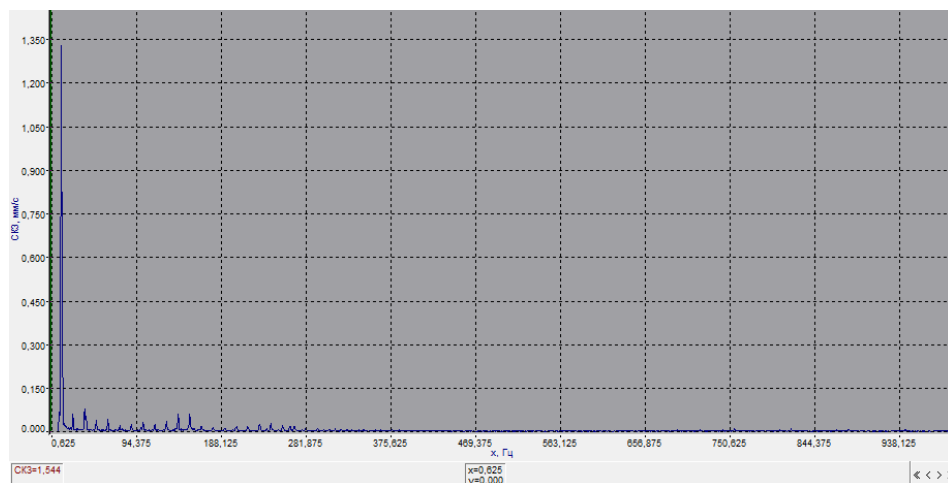


Рисунок 28 – Форма сигнала вибрации работающей центробежной машины на частоте 15,2 Гц для второй точки измерения с перекосом вала по оси X

Вывод: Путем лабораторного исследования было определено, что вибрация всегда меньше, если вал находится на одной оси с электрической машиной. Экспериментально доказано, что при перекоме вала вибрации по оси x выше чем по оси y. Датчики настраивались в диапазоне 1 кГц при нижней частоте 10 Гц. Запуск был выбран свободный, а количество линий для лучшего отображения было выбрано 1600. При вибрации данного типа большая нагрузка ложится на подшипники и муфту, что может привести к выходу их из строя. Для уменьшения данных вибраций необходимо лучше центровать двигатель и вал, не допуская перекоса или смещения.

					Анализ вибрации перекоме вала относительно двигателя	Лист
						62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы, был проведён анализ и мониторинг различных неисправностей центробежных машин. В теоретической части разобрано центробежное оборудование и какие факторы влияют на появление вибрации в узлах данной машины. Описан вибрационный анализатор, а именно его составные части и параметры при которых возможно вести анализ вибраций. Выявлены частоты, при которых наиболее эффективно вести измерения вибраций и измерять количество оборотов для центробежных машин разной мощности.

Лабораторное исследование показало, что при появлении дисбаланса центробежной машины увеличение вибрации происходит прямо пропорционально массе груза и радиуса, на котором прикреплен груз. Большую важность при эксперименте играет настройка датчиков, которые измеряют вибрации и количество оборотов. При максимальной частоте вращения установки в 51,4 Гц (3084 об/мин), датчик оборотов ДО-01 лучше настраивать на диапазон 100 Гц при нижней частоте 10 Гц. Так как при установке этого же датчика на диапазон 20 кГц при нижней частоте вращения 10 Гц увеличивается погрешность измерения. Так же для настройки пьезоэлектрического датчика необходимо устанавливать диапазон 1 кГц при нижней частоте 10 Гц так, как если при настройке установить диапазон 20 кГц возникает проблема чувствительности датчика и невозможно определить точную вибрацию установки.

Так же исследование показало, что при определённой частоте вращения без дефекта подшипника на графике не будет появляться дополнительная гармоника т.к. центробежная машина работает устойчиво и не возникает вибраций.

					Анализ и мониторинг неисправностей центробежных машин			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Радченко Д.В.			Заключение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Рудаченко В.А.					89	92
Консульт.						Кафедра транспорта и хранения нефти и газа Группа 2Б2Б		
Зав. Каф.								

Но при деформации подшипника на графике появляется гармоника на частоте вращения умноженной на 8 т.к. в подшипнике 6204z по ГОСТ 7242-81 находится 8 шариков. По появлению гармоники можно определить, что подшипник деформирован и требуется замена. Так же необходимо настроить пьезоэлектрический датчик на диапазон 1 кГц, нижняя частота при этом должна быть 10 Гц для более точного измерения. На первом подшипнике вибрация без дефекта составила 0,74 мм/с, а с дефектом 0,86 мм/с. Для второго подшипника вибрация без дефекта составила 0,55 мм/с, а с деформацией подшипника 0,71 мм/с.

При деформации подшипника возникает вибрация, которая ухудшает работоспособность центробежной машины, что может привести к аварийной остановке и финансовым потерям если вовремя не заменить подшипник.

Путем лабораторного исследования было определено, что вибрация меньше, если вал находится на одной оси с электрической машиной и не происходит перекоса вала электродвигателя и центробежной машины. Датчики настраивались в диапазоне 1 кГц при нижней частоте 10 Гц. При вибрации данного типа большая нагрузка ложится на подшипники и муфту, что может привести к выходу их из строя. Для уменьшения данных вибраций необходимо лучше центровать двигатель и вал, не допуская перекоса или смещения.

Был проведён экономический анализ при использовании данной технологии измерения вибраций центробежных машин. Данная установка окупает себя за 9 дней, а в дальнейшем несёт стабильную прибыль практически без вложений денежных средств.

Проведена оценка социальной ответственности для анализа и мониторинга неисправностей центробежных машин. При этом выявлено что аварии при использовании данной технологии уменьшатся так, как анализ и мониторинг неисправностей центробежных машин позволяет на стадии зарождения определить дефект и устранить его, не доводя центробежную машину до аварийного состояния.

					Заключение	Лист
						90
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		