

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт природных ресурсов

Направление подготовки (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»

профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»

Кафедра Транспорта и хранения нефти и газа

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы	
«Основные диагностические признаки неисправностей центробежных насосов»	
УДК 661.671.004-7	

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б2А	Костикова Е.А.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры ТХНГ	Рудаченко В.А.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель кафедры ЭПР	Глызина Т. С.	К.Х.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель кафедры ЭБЖ	Алексеев Н. А.	—		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТХНГ	Рудаченко А.В.	К.Т.Н, доцент		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 81 с., 15 рис., 10 табл., 31 источник, 0 прил.

Ключевые слова: центробежный насос, вибрация, неисправность, спектральный анализ, диагностика, корреляция, матрица диагностики.

Объект исследования. Центробежный насосный агрегат.

Цель работы – выявление и анализ основных диагностических признаков неисправностей центробежных насосов для увеличения эффективности, надежности и ресурса, а также обеспечения безопасной эксплуатации машин и механизмов, проведение корреляционного анализа с исправным техническим состоянием.

Методология исследования. В данной работе произведен анализ частотных характеристик, приводящих к неисправностям центробежных насосов и корреляция с исправным техническим состоянием.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: на основе полученных данных по техническому состоянию объекта в зависимости от параметров вибрации были выявлены основные неисправности центробежных насосов и их диагностические признаки.

Область применения: нефтепроводный транспорт.

Полученные результаты и их новизна. Результаты исследования могут быть использованы при подготовке мероприятий по снижению вероятности отказов на стадиях технического обслуживания, ремонта и эксплуатации.

Экономическая эффективность/значимость работы. Своевременное обнаружение диагностических признаков неисправностей позволяет повысить эффективность использования оборудования, продлить срок службы, сократить затраты на ремонт оборудования.

						Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Оглавление

1. Обзор литературы	5
1.1. Дефекты основных конструктивных элементов центробежного насоса. 6	
1.2. Дефекты вала центробежного насоса.	7
1.3. Вибрационные методы диагностики насосных агрегатов.	8
1.4. Дисбаланс масс ротора.	11
1.5. Расцентровка.	13
1.6. Ослабление крепления.	14
1.7. Оценка технического состояния агрегата.	16
2. Расчетная часть	18
3. Заключение	28
4. Список использованных источников	29

						Лист
						2
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Введение

Актуальность работы. В нефтегазовой отрасли широко используют центробежные насосы, в основе оценки технического состояния которых лежит периодический контроль вибропараметров. Вибрации приводят к серьезным последствиям вплоть до отказа оборудования. Своевременное обнаружение дефектов оборудования при оценке технического состояния оборудования позволит обеспечить его безопасную эксплуатацию. Оценка технического состояния оборудования с целью его эффективного и долговременного использования.

Объект исследования. Центробежные насосы, диагностика неисправностей центробежных насосов.

Предмет исследования. Анализ частотных характеристик приводящих к неисправностям центробежных насосов в процессе их эксплуатации.

Цель работы. Выявление основных диагностических признаков неисправностей центробежных насосов, анализ дебаланса центробежных насосов, построение матрицы технического состояния и определение корреляции с исправным техническим состоянием.

Для реализации поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- Выявить основные неисправности центробежных насосов и их причины;
- Провести сравнительный корреляционный анализ с исправным техническим состоянием;
- Определить матрицу технического состояния оборудования.

Новизна и практическая значимость. При исследовании реальных данных эксплуатации центробежных насосов на НПС были выявлены основные причины возникновения повышенной вибрации, которые могут быть

						Лист
						3
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

использованы при подготовке мероприятий по снижению вероятности отказов на стадиях технического обслуживания, ремонта и эксплуатации.

						Лист
						4
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

1. Обзор литературы

Центробежные насосные агрегаты широко используются благодаря существенным конструктивным и техническим преимуществам над другими типами насосов. Основными достоинствами являются малые габариты, большие скорости вращения, с которыми работают движущиеся части насосов и перемещается жидкость. Отсутствие возвратно-поступательных движений и вызываемых ими сил инерции допускает возможность работы при минимальных размерах фундаментов. Следовательно, стоимость самого насоса, помещения первоначальной установки, дальнейшего ухода и ремонта значительно меньше, чем, например, для поршневого.[8]

Работа ЦНА сопровождается вибрацией, характеристики которой претерпевают изменения в процессе эксплуатации по мере развития и накопления дефектов и неисправностей. Каждый дефект влияет на общее вибрационное состояние механизма, поэтому вибрационный сигнал при правильной его обработке и интерпретации обладает достаточно емкой информацией о состоянии и глубине развития дефекта. [1]

Основные неисправности ЦНА, возникновение и накапливание которых приводит к отклонениям в вибрационном состоянии механизма, разделяют на три различные группы: гидродинамические, механические и электромагнитные.

К неисправностям гидродинамического характера относятся:

- кавитация;
- рециркуляция;
- гидравлический дисбаланс;
- взаимодействие с улиткой диффузором.

К неисправностям механического происхождения относятся:

- неуравновешенность ротора;
- бой рабочего колеса;

						Лист
						5
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

- изгиб вала;
- влияние трубопроводной обвязки насоса.

К неисправностям электромагнитного происхождения относятся:

- флуктуации объема воздушного зазора в магнитопроводе;
- переменные составляющие тока и потока;
- эффект магнитострикции в магнитопроводе.[2]

Все вышеперечисленные причины вибрации могут привести к возникновению и развитию дефекта и вследствие стать причиной отказа.

Отказы и дефекты, связанные с вибрационными процессами в оборудовании, могут быть вызваны вибропроцессами, вызывающими вибропроцессы или изменяющими их. Выделяют следующие стадии развития дефекта (отказа):

- появление причин, вызывающих дефект или отказ;
- инкубационный период (накопление повреждаемости, зарождение дефекта, иногда труднообнаруживаемого используемыми методами диагностики, и ранняя стадия его развития) ;
- развитый дефект, то есть дефект, обнаруживаемый методами диагностики, но не вызывающий вторичных повреждений;
- развитие дефекта, вызывающее вторичные повреждения или изменения в оборудовании, характеризующиеся своими диагностическими параметрами
- внезапное или мгновенное разрушение (имеет место не для всех дефектов), которое может вызывать или не вызывать вторичных разрушений.

1.1. Дефекты основных конструктивных элементов центробежного насоса.

Основными конструктивными элементами центробежных насосов являются: корпус, вал, рабочее колесо, подшипниковые опоры, торцевые и сальниковые уплотнения. [8]В процессе эксплуатации в корпусе насоса могут

						Лист
						6
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

появиться следующие дефекты корпусных деталей насоса:

- коррозионно-эрозионный износ;
- трещины;
- свищи;
- износ посадочных мест подшипников;
- забоины, мелкие риски и вмятины на плоскостях разъема.

В рабочих колесах могут возникнуть следующие дефекты:

- трещины и сколы;
- сквозные и кавитационные раковины;
- коррозионный и эрозионный износ дисков и лопаток на внутренних поверхностях.

1.2. Дефекты вала центробежного насоса.

Основным элементом конструкции насосного агрегата является его ротор, состоящий из вала с насаженным на него рабочим колесом, защитными втулками, крепежными деталями и пр. Вал несет на себе основную нагрузку при передаче вращения от привода к насосу, подвергаясь при этом действию крутящего и изгибающего моментов, вибрации, осевых нагрузок. В результате чего в процессе эксплуатации происходит возникновение и накопление различных дефектов вала, а именно:

- нарушения соосности валов (расцентровка);
- искривления вала;
- износа шеек, резьбы, шпоночных пазов;
- коррозионного и эрозионного износа;
- поверхностных микротрещин, задиров;
- усталостных трещин в местах концентрации напряжений.

Отказы насосных агрегатов в результате разрушения вала ротора в процессе эксплуатации приводят к серьезным последствиям: разрушению подшипниковых узлов, торцевых уплотнений, других конструктивных

						Лист
						7
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

элементов, всего насоса. В особых случаях возможно даже возгорание транспортируемой среды и возникновение пожара или взрыва в насосной.

Анализ литературных данных [1-9] показал, что возникновение дефектов, способных вызвать разрушения вала, может происходить как на стадии его изготовления, так и при монтаже насоса, ремонтных работах.

1.3. Вибрационные методы диагностики насосных агрегатов.

Функционирование насосных агрегатов сопровождается колебательными процессами, возникающими вследствие неуравновешенности и износа движущихся и взаимодействующих между собой его конструктивных элементов. Признаком исправного состояния насосного агрегата является низкий уровень его механических колебаний. В процессе эксплуатации, по мере постепенного износа насосного агрегата, оседания фундамента и деформации деталей параметры вибрации механизма претерпевают изменения. Всякое отклонение от нормы параметров функционирования и структуры механизма приводит к изменению характера взаимодействия его элементов, а, следовательно, и к изменению сопровождающих это взаимодействие виброакустических процессов.[3] Таким образом, вибрация служит как причиной развития дефекта, так и их индикатором.

Главной задачей методов вибродиагностики является выбор наиболее информативного признака, по которому оценивается техническое состояние объекта. На этапе поиска информативных признаков из всех измеряемых параметров выделяют только те, которые прямо или косвенно характеризуют состояние объекта. По ним формируют информативную систему признаков, используемых при диагностировании.[1]

Основными параметрами вибрационных процессов, измеряемых для определения состояния машин методами вибродиагностики, являются следующие: виброперемещение, виброскорость, виброускорение, вибронапряжение, резкость, размах колебания, дисперсия, среднеквадратичное

						Лист
						8
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

отклонение, спектральная плотность мощности, уровень акустической мощности, ударный спектр, длительность удара и др. Выбор измеряемых параметров вибрации производится в зависимости от типов исследуемых механизмов, амплитудного и частотного диапазона измеряемых колебаний.[1]

В низкочастотном диапазоне (также для роторных машин с частотой вращения ротора менее 600 об/мин), в основном, измеряют параметры виброперемещения, в среднечастотном – виброскорости, а в высокочастотном – виброускорения. Это деление условное, так как в некоторых случаях существует необходимость измерения и других параметров, что бывает довольно часто.

Виброперемещение и размах колебаний имеет смысл использовать когда необходимо знать относительное смещение объектов (например, ротора относительно статора при критичности зазоров) или деформацию (при критичности механических напряжений).

При исследовании работоспособности роторных машин с частотой вращения ротора более 600 об/мин, эффективности вибрационных машин и воздействия вибрации на организм человека изучают скорость вибрации, так как она определяет импульс силы и кинетическую энергию (разрушающую способность колебаний). В этом случае измеряют среднеквадратическое значение. Основным преимуществом измерения среднеквадратических значений является независимость этих значений от сдвигов фаз между отдельными составляющими спектров измеряемой вибрации. При этом учитывается временное развитие колебаний.[1]

При оценке вибронадежности объектов и исследований дефектов, связанных с механическими ударами, основным измеряемым параметром является виброускорение. При этом измеряют пиковое значение, отражающее наибольшее значение измеряемых колебаний.

						Лист
						9
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Методы, основанные на спектральном анализе входящего сигнала, позволяют выявлять неисправности насосного агрегата, зачастую не определяя причины ее появления, принадлежность конкретному конструктивному элементу, степень развития дефекта. Так, причинами дисбаланса могут быть: несимметричное распределение масс ротора, дефекты рабочего колеса, термический дисбаланс, дефекты типа трещины на валу и др. В то же время все эти дефекты при спектральном анализе оказывают влияние на одинаковые гармоники спектра гармонических составляющих, что осложняет процесс его идентификации.

В ходе аналитического исследования опытных данных, собранных службой диагностики на НПС, были выявлены основные причины повышенной вибрации. Наиболее распространенными причинами вибрации являются такие неисправности как дебаланс и ослабления подшипников. Также стоит обратить внимание и на расцентровку, так как ее развитие может служить причиной нарушения работоспособности агрегата.

При оценке технического состояния насосных агрегатов методами вибродиагностики, основанными на спектральном анализе входящего сигнала в соответствии с международными и российскими стандартами и нормативно-техническими рекомендациями, в качестве нормируемых параметров в большинстве случаев применяют среднеквадратичное значение (СКЗ) виброскорости. [3]

Диагностирование большей части дефектов и неисправностей насосных агрегатов осуществляется сравнением полученных в результате исследования спектров СКЗ виброскорости со спектрами, характерными исправному состоянию (эталонный спектр). Заключение о наличии и развитии какого-либо дефекта производится на основании анализа изменения амплитуды оборотной частоты и кратных ей гармоник.

						Лист
						10
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Наличие первых гармоник оборотной частоты может свидетельствовать о следующем:

1. Нарушение баланса вращающегося элемента (ротора);
2. Нарушение соосности валов;
3. Ослабление крепления неподвижных (корпусных) и подвижных элементов агрегатов.

1.3. Дисбаланс масс ротора.

Неуравновешенность вращающихся масс ротора является одним из самых распространенных дефектов оборудования, обычно приводящих к резкому увеличению вибраций. Неуравновешенность ротора вызывается возникновением (в силу различных причин) отклонений геометрических размеров ротора от номинальных конструктивных, т.е. дисбаланса. При вращении такого ротора с некоторой угловой скоростью в каждом поперечном сечении, имеющем отклонение размеров от номинальных, возникает центробежная сила, вращающаяся вместе с ротором и вызывающая переменные нагрузки на опоры. При этом результирующая центробежная сила, являясь статической нагрузкой для ротора, может вызывать значительный прогиб вала ротора. Центробежные силы, или дисбаланс, воздействуют на опоры ротора и агрегата, вызывая значительные нагрузки и вибрации последнего.

Причины возникновения дисбаланса в оборудовании могут иметь различную природу, являться следствием многих особенностей конструкции и эксплуатации. К ним относятся:

- дефекты, связанные с нарушением изготовления, сборки и балансировки ротора, которые характеризуются повышенным уровнем вибрации непосредственно после завершения ремонта или монтажа агрегата;
- наличие на вращающемся роторе различных изношенных,

						Лист
						11
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

дефектных и т.п. деталей и узлов;

- дефекты эксплуатации, такие как разрушение частей ротора (например, частей лопаток, рабочего колеса и др.) в процессе работы, которые характеризуются внезапными изменениями амплитуды и/или фазы колебаний, а также различные виды износа деталей ротора (например, трущихся и рабочих шеек вала, лопастей, колес и др.), отложения вредных примесей на роторе (налипания) в процессе работы агрегата, уменьшение натяга (нарушение посадок) деталей ротора, которые характеризуются сравнительно медленными (в течение эксплуатации) изменениями амплитуды и/или фазы вибраций, результат неравномерного износа конструкции ротора⁴
- неравномерная внутренняя структура или наличие внутренних дефектов в конструкционных материалах ротора.[1]

По своему типу, специфике проявления в общей картине вибрации, по особенностям проведения диагностирования дисбалансы можно условно подразделить на:

- статический дисбаланс;
- динамический дисбаланс;
- моментный дисбаланс.

В случае дисбаланса сигнал виброускорения на фоне первой гармоники частоты вращения вала часто насыщен средне- и высокочастотной и случайной составляющими.ю возбуждаемыми даже исправными подшипниками качения и другими источниками.

Дисбаланс наиболее четко проявляется при измерении виброскорости. При этом амплитуда первой гармоники f_0 виброскорости преобладает над всеми остальными (если нет других дефектов).

Для различных видов дисбаланса характерно следующее:

- если амплитуды виброскоростей на конечных опорах ротора на

						Лист
						12
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

оборотной частоте одинаковы, синфазны и имеют устойчивый характер, то это статический дисбаланс;

- если амплитуды виброскоростей на конечных опорах потора на оборотной частоте одинаковы и противофазны, то это моментный дисбаланс;
- если амплитуды виброскоростей на конечных опорах ротора на оборотной частоте неодинаковы, не синфазны и непротивофазны, то это динамический дисбаланс.

При механическом дисбалансе параметры вибрации зависят от частоты вращения ротора и практически не зависят от режима работы агрегата, внешних условий работы и температуры агрегата. Вибрация может проявляться как в радиальном, так и в осевом направлениях, однако, в силу зависимости от жесткости подшипника обычно, горизонтально-радиальная вибрация преобладает над вертикальной. При этом часто наблюдаются более интенсивные колебания опор корпуса ротора с дисбалансом, а влияние его колебаний на вибрацию сопряженных агрегатов, особенно в случае применения гибких муфт, обычно относительно невелико. Если амплитуда первой гармоники на частоте 50 Гц значительно больше амплитуды остальных гармоник, то, можно предположить, что данный агрегат имеет дисбаланс ротора.[1,2]

Наличие большого уровня вибраций с оборотной частотой, возможно, привело к ослаблению креплений подшипников ротора и агрегата в целом. Поэтому необходимо проверить крепление не только агрегата в целом, но и всех соединений.

1.4. Расцентровка.

Расцентровка (несоосность) – состояние, при котором центральные оси соединенных валов не совпадают. Несоосность присутствует всегда и ее развитие часто служит причиной нарушения работоспособности агрегатов.

						Лист
						13
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Если центральные оси несоосных валов остаются при этом параллельными, то имеет место параллельная несоосность. Если центральные оси несоосных валов пересекаются в точке соединения, но не параллельны, тогда несоосность называется угловой.

Расцентровка обычно вызывается следующими причинами:

- неточной сборкой составных частей (двигателей, насосов и т.п.);
- относительным смещением составных частей после сборки;
- деформацией податливых опор;
- тепловым расширением конструкции машины;
- неперпендикулярностью торцов муфты осям валов;
- нежесткостью основания.

Несоосность приводит к следующим проблемам:

- сильный износ и нагрев муфты;
- растрескивание вала вследствие усталости, вызванной изгибом;
- чрезмерное нагружение подшипников;
- преждевременный выход из строя подшипников;
- срез вала двигателя или машины.

Большинство случаев несоосности являются комбинацией двух описанных выше типов, а их диагностирование основано на преобладании $2f_0$ -пигов над f_0 -пиками в радиальной вибрации и на существовании сильных пиков f_0 , преобладающих над пиками $2f_0$ в осевой вибрации. При этом следует убедиться, что высокие осевые уровни f_0 не вызваны дисбалансом роторов.[4]

1.5. Ослабление крепления.

Ослабления крепления (механические ослабления) – зазоры между деталями, люфты, неплотная затяжка (сборка) составных частей, нарушение целостности несущих элементов фундаментов, неплотная посадка вращающихся деталей – являются нелинейным откликом агрегата

						Лист
						14
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

(механической системы) на воздействие неуравновешенных сил и причинами возбуждения детерминированной и случайной вибрации.

Податливость опор:

- конструктивное и эксплуатационное ослабление опор, опорной плиты, основания, элементов крепления (анкеров, болтов), фундамента;
- ослабление взаимного крепления при сборке (неплотная заатяжка) составных частей опор ротора, вкладышей, корпусов подшипников, фундаментных рам и ригелей фундамента;
- неполное прилегание, искажение формы рамы и основания (коробление фундаментной плиты).

Люфты в неподвижных соединениях, целостность деталей:

- неплотное прилегание деталей;
- ослабление крепления и нарушение связи между корпусом подшипника и ротором;
- ослабление крепления и нарушение связи между корпусом подшипника и корпусом агрегата;
- ослабление крепления и нарушение связи между опорами, корпусом агрегата и фундаментной плитой;
- появление трещин у несущих элементов рамы, корпуса и фундамента;
- нарушение целостности конструкции фундамента;
- увеличение податливости опор корпуса;
- ослабление закладных деталей.

Ослабление связей между деталями, образующими систему вращающихся элементов:

- трещины колеса или вала;
- ослабление (неплотная посадка) рабочих колес вентиляторов и насосов, подшипников, вкладышей подшипников, муфт;

						Лист
						15
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

– чрезмерный зазор во втулках или элементах подшипников.

Характерными признаками ослабления крепления (жесткости) являются нестационарность и импульсный характер временного сигнала виброускорения, при этом в спектре присутствует достаточно большое количество целых (1-10) и кратных составляющих f_0 , а также субгармоники. При этом спектр нестабилен во времени, устойчивую оценку спектра можно получить при осреднении его на протяжении нескольких десятков секунд. Форма временного сигнала и спектр виброскорости, как правило, имеют более стационарный характер (по сравнению с виброускорением) при длине реализации в несколько оборотов. Однако амплитуда сигнала обычно бывает нестабильна от оборота к обороту. Можно наблюдать импульсы, период которых кратен частоте вращения вала. Гармонические составляющие проявляются более четко, хотя также требуется осреднение.[1]

Динамика развития дефекта.

В общем случае ослабления начинают проявляться в радиальных направлениях в виде появления первых гармоник f_0 , напоминая дисбаланс или расцентровку, наличие которых усугубляет течение процесса. Развиваясь во времени ослабления начинают проявляться в появлении более высоких гармоник f_0 , причем в процессе зарождения и развития дефекта вибрация на одной или нескольких высших гармониках может превосходить вибрацию на частоте возбуждения.

По мере развития дефекта в спектре вибрации между высшими гармониками f_0 и особенно в низкочастотной части появляются шумовые случайные составляющие.[2]

1.6. Оценка технического состояния агрегата.

Техническое состояние агрегата определяется состоянием многих его узлов и механизмов, каждый из которых имеет свои диагностические признаки неисправностей и дефектов. Для оценки технического состояния агрегата

						Лист
						16
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

необходим комплексный подход к анализу виброакустических сигналов с целью выявления диагностических признаков.

Для того, чтобы точно выявить определенный дефект, требуется применение дополнительных операций по обработке вибросигнала – анализ временной реализации или проведение дополнительных замеров при различных режимах работы исследуемого агрегата, что не всегда является уместным в условиях производства. К тому же в процессе спектрального преобразования вибросигнала теряется информация о временном факторе и представление о динамике изменения спектрального состава сигнала.[5]

						Лист
						17
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

2. Расчетная часть

В ходе анализа данных о техническом состоянии 200 центробежных насосов на НПС были выявлены основные неисправности насосных агрегатов, приводящие к повышенной вибрации. Результаты анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные причины повышенной вибрации ЦНА

Неисправность	Количество	Доля в %
Дебаланс	96	55
ротора электродвигателя	28	
муфты	41	
ротора насоса	27	
Расцентровка	8	5
Износ	18	10
подшипников насоса	5	
подшипников электродвигателя	1	
рабочих колес насоса	7	
рабочих лопаток колес насоса	1	
торцевых уплотнений	4	
Зазоры подшипников в вертикальной и горизонтальной плоскостях не соответствуют паспортным параметрам	48	27
подшипников электродвигателя	37	
подшипников насоса	11	
Работа насоса в крайней точке рабочей характеристики	2	1
Работа насоса вне зоны рабочей характеристики	3	2
ВСЕГО:	175	100

Более наглядно это можно увидеть на диаграмме (рисунок 1).

Неисправности центробежных насосов

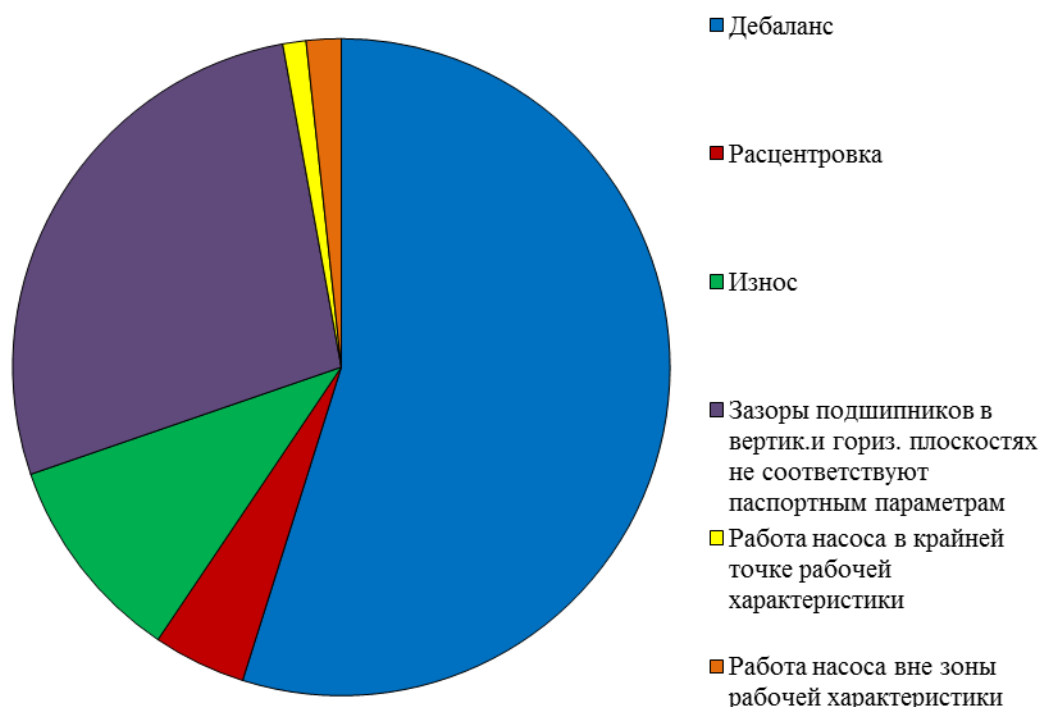


Рисунок 1 Неисправности центробежных насосов.

Из рисунка 1 видно, что чаще всего причиной повышенной вибрации служит дебаланс муфты и роторов электродвигателя и насоса. Также нередко встречается отклонение зазоров подшипников электродвигателя и насоса от паспортных параметров, что тоже является весомым основанием для нарушения установленного уровня вибрации.

Для описания вибрации оборудования используют виброускорение, виброскорость и виброперемещение – основные параметры вибрации. На практике чаще всего используют виброскорость и виброперемещение, однако для виброскорости берут ее среднеквадратичное значение (СКЗ). Но целесообразнее использовать все-таки виброскорость, так как этот параметр учитывает не только энергетическое воздействие на опоры сил, вызывающих

					Лист
					19
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата	

вибрацию, но и перемещение контролируемой точки.

Нормы вибрации магистральных насосов согласно [10] представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Нормы вибрации магистральных насосов

Величина СКЗ виброскорости, мм/с	Оценка вибросостояния агрегата	Оценка длительности эксплуатации
До 2,8	Отлично	Длительная
Свыше 2,8 до 4,5	Хорошо	Длительная
Свыше 4,5 до 7,1 (для номинальных режимов)	Удовлетворительно, необходимо улучшение	Ограниченная
Свыше 4,5 до 7,1 (для режимов, отличных от номинальных)	Удовлетворительно	Длительная
Свыше 7,1 До 11,2 (для режимов, отличных от номинальных)	Удовлетворительно, необходимо улучшение	Ограниченная
Свыше 11,2	Неудовлетворительно	Недопустима

Рассмотрим более детально все причины повышенной вибрации, выявленные в ходе исследования.

Как было сказано ранее, наиболее часто встречается такое явление, как дебаланс. Дебаланс наиболее четко проявляется при измерении виброскорости. При этом амплитуда первой гармоники f_0 СКЗ преобладает над всеми остальными (если нет других дефектов). что и наблюдается на рис. 2, рис.3.

						Лист
						20
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		



Рисунок 2 – Уровень СКЗ при дебалансе ротора электродвигателя.

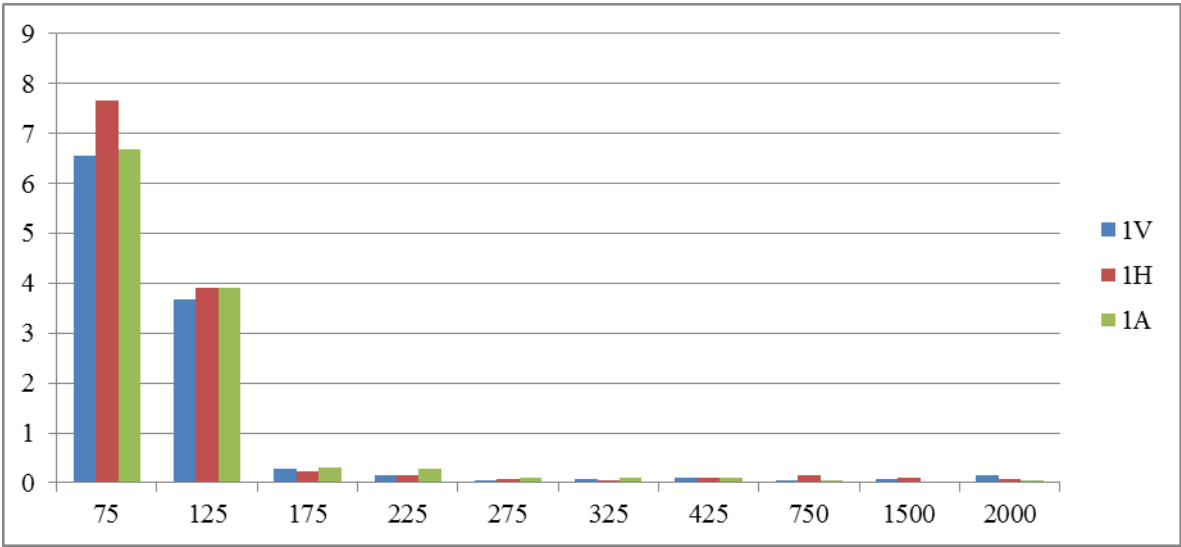


Рисунок 3 – Уровень СКЗ при дебалансе ротора электродвигателя в точках 1V, 1H, 1A.

Примерно такая же ситуация с дебалансом муфты и ротора насоса (рис.4,5,6,7).



Рисунок 4 – Уровень СКЗ при дебалансе муфты.

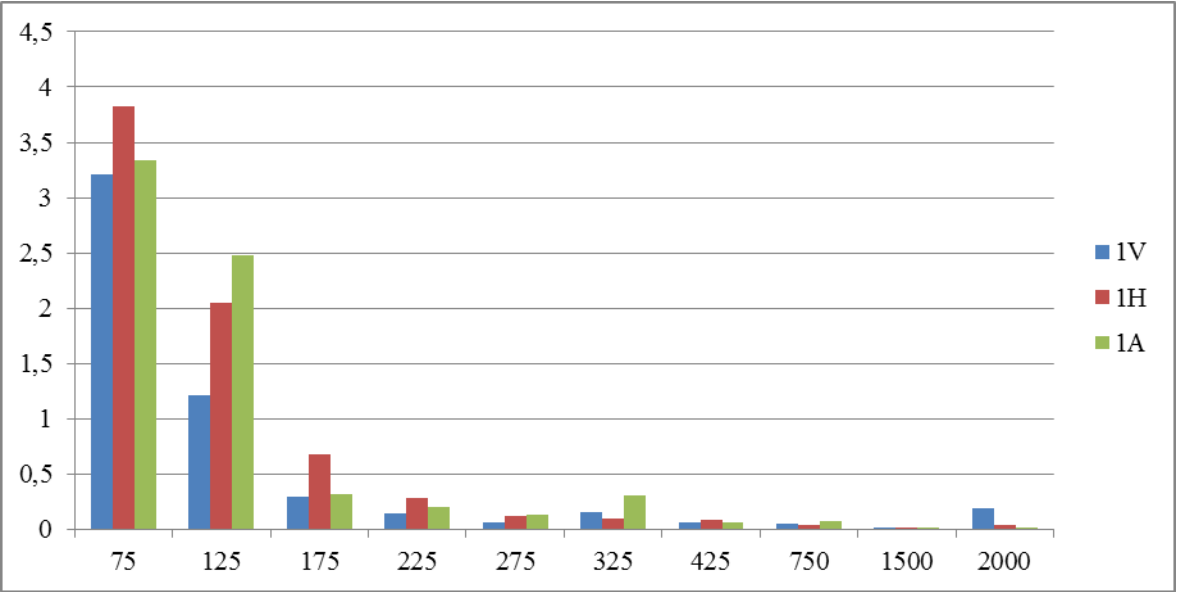


Рисунок 5 – Уровень СКЗ при дебалансе муфты в точках 1V, 1H, 1A.

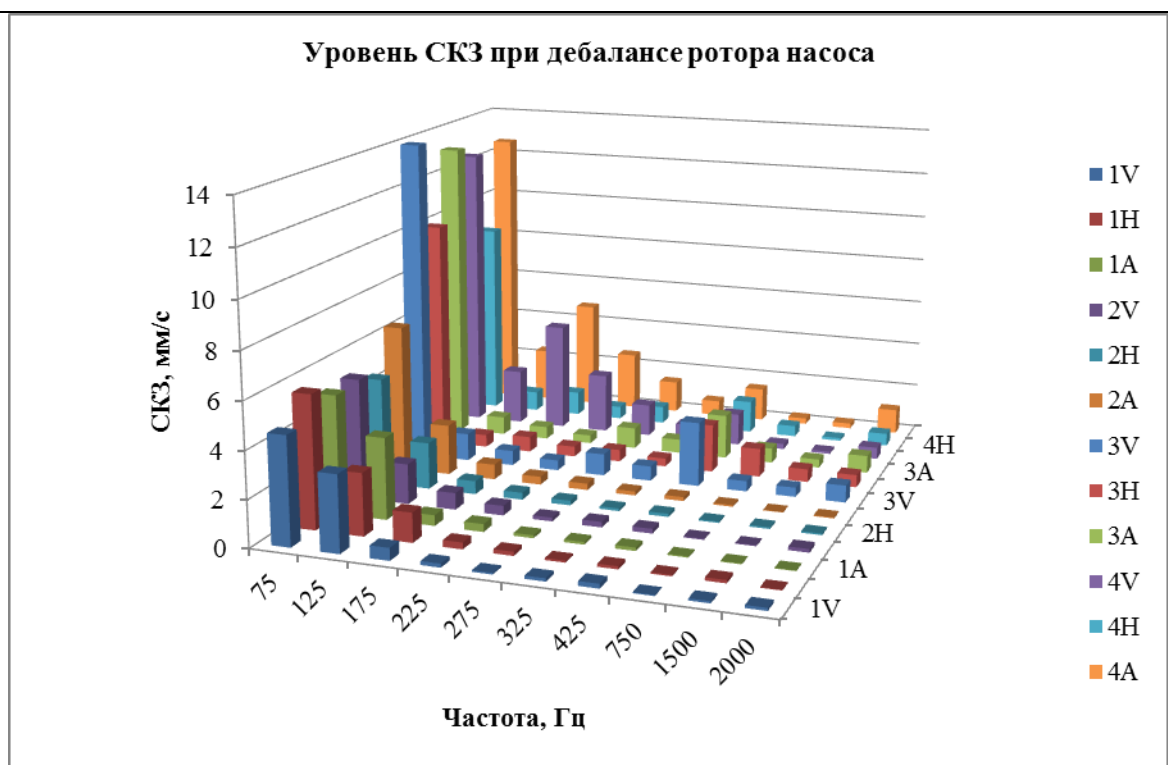


Рисунок 6 – Уровень СКЗ при дебалансе ротора насоса.

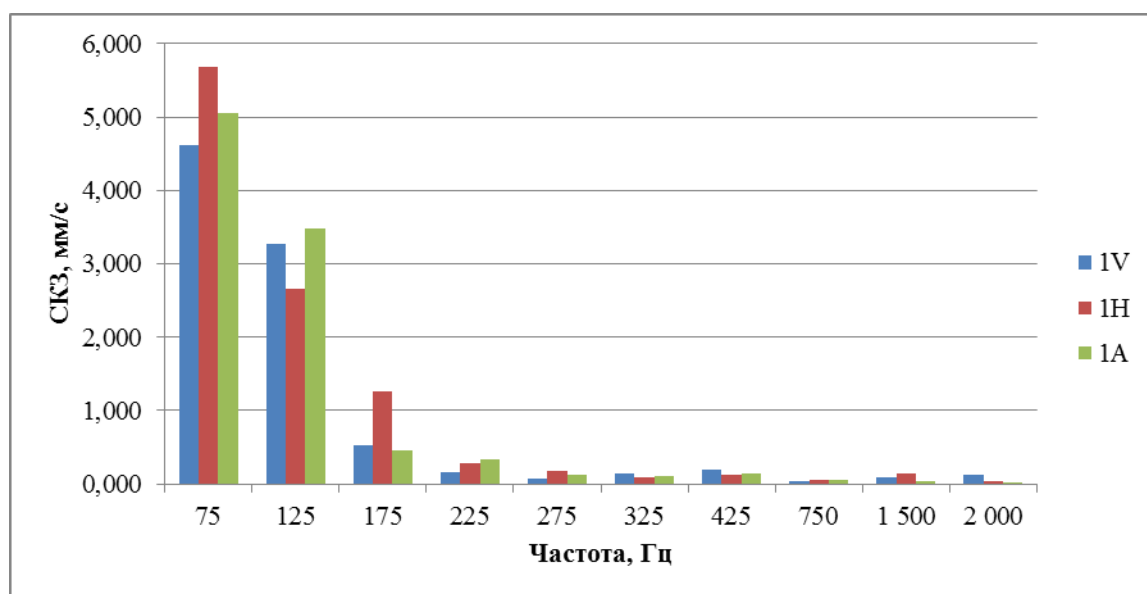


Рисунок 7 – Уровень СКЗ при дебалансе ротора насоса
в точках 1V, 1H, 1A.

Сравнивая опытные данные с нормативными (табл.2), можно сделать вывод: состояние агрегатов удовлетворительное, требуются меры по улучшению СКЗ до нормированных значений.

					Лист
					23
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата	

Еще одной распространенной причиной повышенной вибрации является несоответствие зазоров подшипников насоса и электродвигателя в различных плоскостях паспортным параметрам или ослабления. Характерными признаками ослабления крепления являются нестационарность и импульсный характер временного сигнала виброускорения, что можно увидеть на спектре вибрации (рис.8,9)

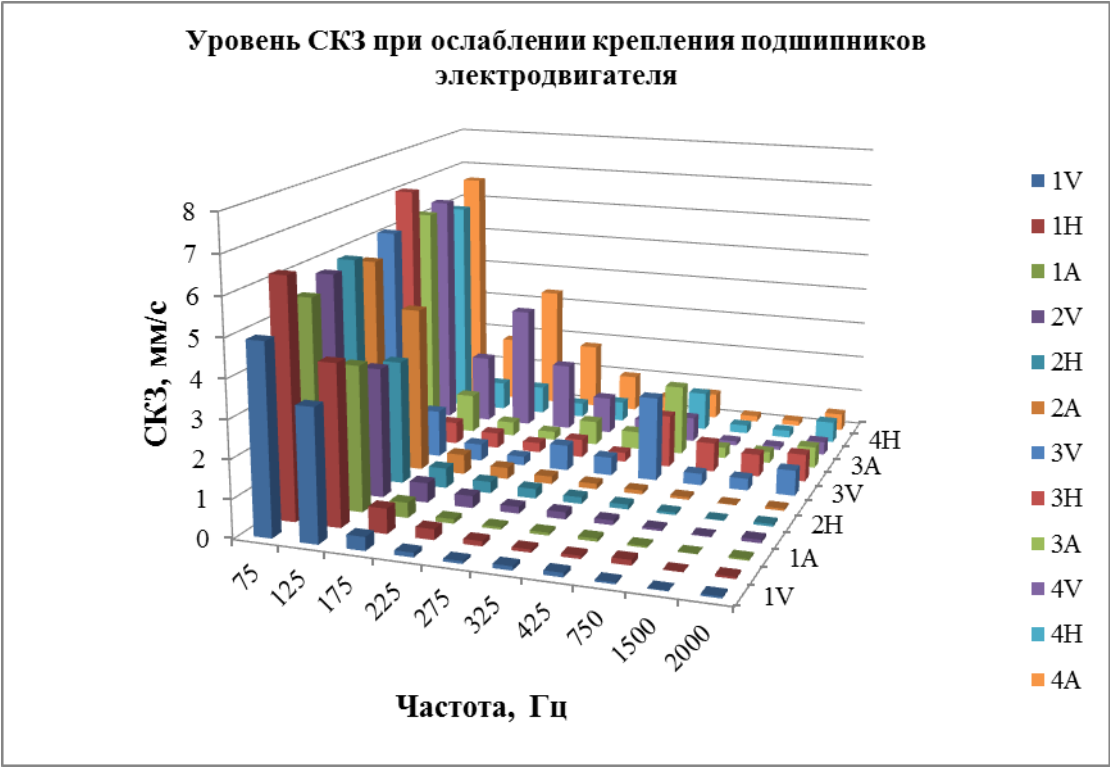


Рисунок 8 – Уровень СКЗ при ослаблении крепления подшипников электродвигателя.

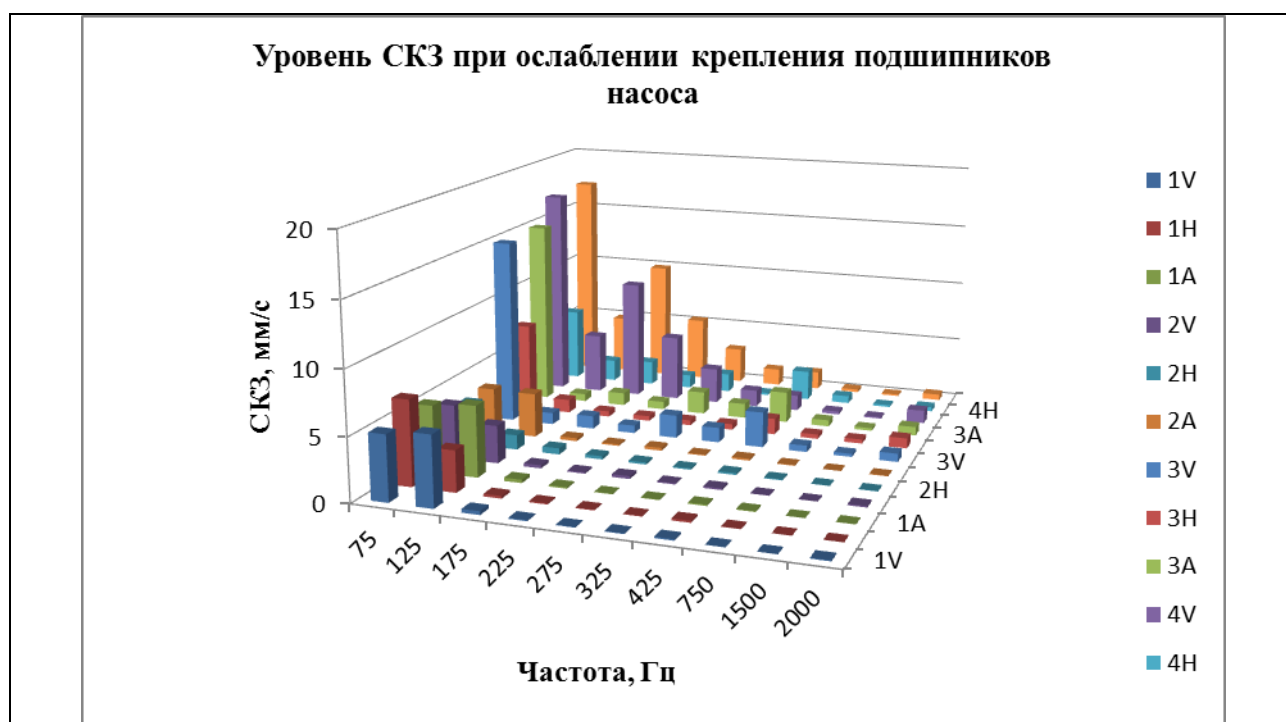


Рисунок 9 – Уровень СКЗ при ослаблении крепления подшипников насоса.

Также стоит обратить внимание и на расцентровку, так как ее развитие может служить причиной нарушения работоспособности агрегата. Диагностирование этого типа неисправностей основано на преобладании $2f_0$ -пиков над f_0 -пиками в радиальной вибрации и на существовании сильных пиков f_0 , преобладающих над пиками $2f_0$ в осевой вибрации. При этом следует убедиться, что высокие осевые уровни f_0 не вызваны дисбалансом роторов (рис.10).

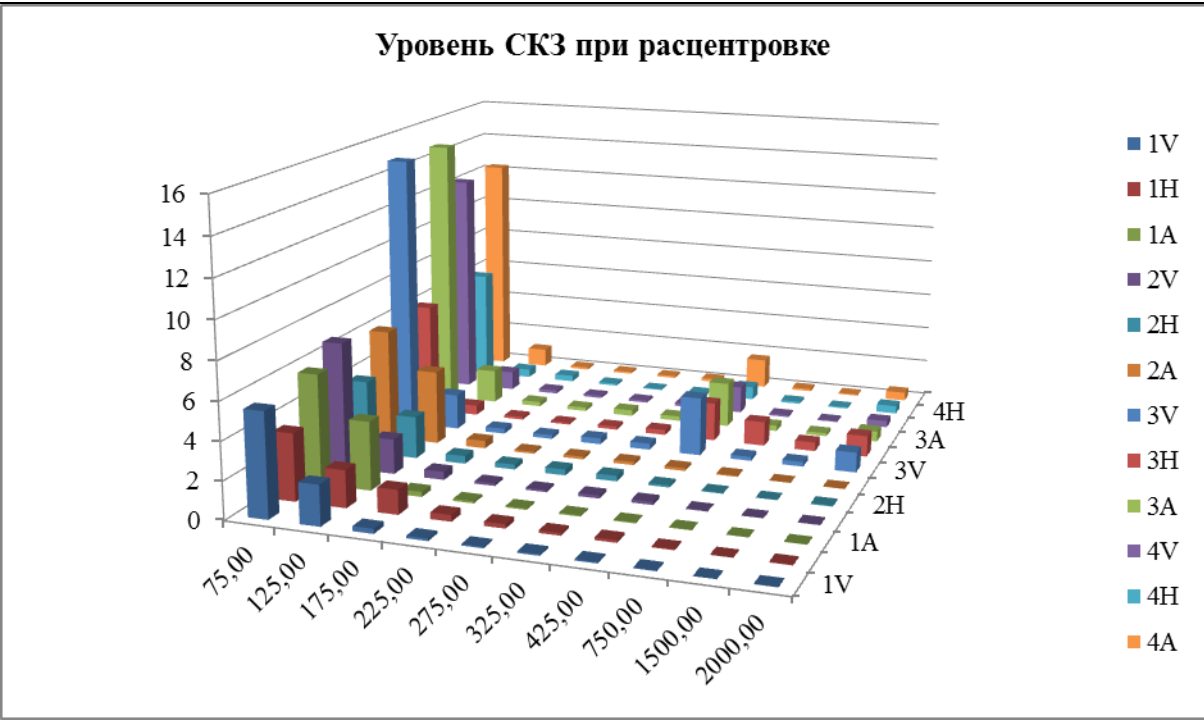


Рисунок 10 – Уровень СКЗ при расцентровке.

Для сравнения в качестве эталонного спектра были использованы данные исправных насосных агрегатов (рис.11).



Рисунок 11 – Уровень СКЗ исправного ЦНА.

Все значения СКЗ находятся в пределах нормы, состояние оборудования отличное.

Для более точного диагностирования неисправностей по частотным характеристикам необходимо посчитать корреляцию относительно исправного оборудования. Для этого воспользуемся формулой расчета коэффициента корреляции Пирсона:

$$r_{xy} = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum(y_i - \bar{y})^2}},$$

где x_i – значения, принимаемые переменной X,
 $\bar{x}$ – средняя по X,
 y_i – значения, принимаемые переменной Y,
 $\bar{y}$ – средняя по Y.

Результаты расчета коэффициента корреляции неисправного оборудования с исправным представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Коэффициенты корреляции неисправных ЦНА с исправными.

	Дебаланс			Зазоры подшипников электродвигателя не соответствуют паспортным параметрам		Зазоры подшипников насоса не соответствуют паспортным параметрам	Расцентровка
	ротора электродвигателя	ротора насоса	муфты	переднего	заднего		
1V	0,957	0,946	0,926	0,948	0,945	0,852	0,921
1H	0,950	0,942	0,915	0,901	0,935	0,944	0,932
1A	0,948	0,917	0,933	0,916	0,925	0,952	0,940
2V	0,940	0,939	0,924	0,904	0,916	0,924	0,940
2H	0,933	0,919	0,919	0,990	0,920	0,940	0,939
2A	0,921	0,933	0,914	0,927	0,917	0,903	0,923
3V	0,931	0,852	0,915	0,927	0,934	0,827	0,878
3H	0,925	0,937	0,925	0,947	0,951	0,950	0,927
3A	0,914	0,915	0,933	0,912	0,917	0,908	0,932
4V	0,874	0,925	0,902	0,870	0,872	0,841	0,900
4H	0,931	0,911	0,911	0,912	0,902	0,874	0,914
4A	0,855	0,922	0,906	0,858	0,870	0,809	0,903

3. Заключение

- 1) В ходе выполнения выпускной квалификационной работы произведен анализ статистических данных, который позволил обнаружить наиболее распространенные неисправности центробежных насосных агрегатов.
- 2) Исследованы основные причины повышенной вибрации оборудования.
- 3) Проведен корреляционный анализ неисправных ЦНА относительно исправных.
- 4) Проведен анализ дебаланса ЦНА, определена его матрица технического состояния (табл.4) и корреляция с исправным техническим состоянием.

Таблица 4 – матрица технического состояния при дебалансе ЦНА.

	Дебаланс		
	ротора электродвигателя	ротора насоса	муфты
1V	0,957	0,946	0,926
1H	0,950	0,942	0,915
1A	0,948	0,917	0,933
2V	0,940	0,939	0,924
2H	0,933	0,919	0,919
2A	0,921	0,933	0,914
3V	0,931	0,852	0,915
3H	0,925	0,937	0,925
3A	0,914	0,915	0,933
4V	0,874	0,925	0,902
4H	0,931	0,911	0,911
4A	0,855	0,922	0,906

Дебаланс коррелирует с исправным техническим состоянием отлично, если нет других технических величин, но СКЗ может отличаться в 2,3,5 раз.

					Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата	28

Список использованных источников

1. Основы виброакустической диагностики и мониторинга машин / В.Н. Костюков // учеб. Пособ./ В.Н. Костюков , А.П. Науменко – Омск, 2011. Разд. 7, с.202-208,248-250.
2. Мониторинг и диагностика технического состояния машинных агрегатов по параметрам вибрационных процессов. Часть1/ Б.Л. Герике // учеб. Пособ.– Кемерово, 1999 – 188 с.
3. Вибрация роторных машин/ А.С. Гольдин – М., 1999 – 344с .
4. Неразрушающий контроль. Метод акустической эмиссии/ В.И. Иванов// справ. Изд/ В.И. Иванов, И.Э. Власов – М., 2005 – 829 с.
5. Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации/ учеб. пособ./ Петрухин В.В., Петрухин С.В. – М., 2010 – 176 с.
6. Дж Бендат. Применения корреляционного и спектрального анализа/ пер. с англ.//, А. Пирсол – М., 1983. – 312 с.
7. Оценка технического состояния насосного агрегата с учетом влияния собственных частот колебаний его конструктивных элементов/ Халитов Т.Ф., Закирничная М.М.//сб. тез. Докл – Уфа, 2008 – с.169-170.
8. Центробежные и осевые насосы: Теория, конструирование и применение. /Степанов А.И. – М., 1960 – с.50-80.
9. Гумеров А.Г. Диагностика оборудования нефтеперекачивающих станций./ Гумеров А.Г., Гумеров Р.С., Акбердин А.М. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003 – 347 с.
10. РД 08.00-60.30.00-КТН-016-1-05. Руководство по техническому обслуживанию и ремонту оборудования и сооружений нефтеперекачивающих станций. [Электронный ресурс]. – режим доступа к стр.: http://tehlit.ru/1lib_norma_doc/54/54609/index.htm#i858851 (дата обращения: 07.06.16).

						Лист
						29
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

- 11.
12. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. [Электронный ресурс]. – режим доступа к стр.: <http://docs.cntd.ru/document/gost-12-0-003-74-ssbt> (дата обращения: 07.06.16).
13. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация. [Электронный ресурс]. – режим доступа к стр.: <http://docs.cntd.ru/document/gost-12-1-029-80-ssbt> (дата обращения: 07.06.16).
14. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. [Электронный ресурс]. – режим доступа к стр.: <http://docs.cntd.ru/document/1200118606> (дата обращения: 07.06.16).
15. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. [Электронный ресурс]. – режим доступа к стр.: <http://docs.cntd.ru/document/gost-12-1-005-88-ssbt> (дата обращения: 08.06.16).
16. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. [Электронный ресурс]. – режим доступа к стр.: <http://docs.cntd.ru/document/gost-12-1-004-91-ssbt> (дата обращения: 07.06.16).
17. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. [Электронный ресурс]. – режим доступа к стр.: <http://www.gostbaza.ru/?gost=1048> (дата обращения: 06.06.16).
18. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования. [Электронный ресурс]. – режим доступа к стр.: <http://docs.cntd.ru/document/gost-12-1-010-76-ssbt> (дата обращения: 07.06.16).
19. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие

						Лист
						30
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

требования безопасности. [Электронный ресурс]. – режим доступа к стр.:
<http://docs.cntd.ru/document/901702428> (дата обращения: 08.06.16).

20. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату
производственных помещений. [Электронный ресурс]. – режим доступа к
стр.: <http://docs.cntd.ru/document/901704046> (дата обращения: 08.06.16).

21. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение.
[Электронный ресурс]. – режим доступа к стр.:
<http://docs.cntd.ru/document/1200084092> (дата обращения: 25.05.16).

22. Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ, Технический регламент
о требованиях пожарной безопасности. [Электронный ресурс]. – режим
доступа к стр.: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения:
08.06.16).

23. ГОСТ 12.2.003-74. Оборудование производственное. Общие требования
безопасности. [Электронный ресурс]. – режим доступа к стр.:
<http://docs.cntd.ru/document/1200077775> (дата обращения: 08.06.16).

						Лист
						31
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		