

# ПРАКТИЧЕСКИЙ РЕЗУЛЬТАТ РАБОТ ПО ПЕРЕХОДУ К ОБСЛУЖИВАНИЮ ОБОРУДОВАНИЯ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ НА ПРЕДПРИЯТИИ ООО «ТОМСКНЕФТЕХИМ»

## ВВЕДЕНИЕ

Надежная работа основного и вспомогательного оборудования в настоящее время не представляется возможной без периодического виброконтроля и вибродиагностирования его состояния. Основные дефекты деталей, узлов возникают в процессе эксплуатации и ремонта оборудования. Одни дефекты – такие как естественный физический износ – объективны, но многие дефекты – «рукотворные» и являются чей-то недоработкой как при ремонте, так и при эксплуатации, и при изготовлении и входном контроле.

Мы в Томске стараемся изучать и систематизировать причины повышенной вибрации оборудования, чтобы понять истинную обстановку, сложившуюся с нашим динамическим оборудованием. Анализ основных дефектов, выявленных при диагностике оборудования в течение 2011 г., представлен на диаграмме 1.

Диаграмма 1.



Мне хочется предложить вашему вниманию несколько практических примеров по выявлению наиболее распространённых дефектов, являющихся в основном типовыми для данного вида оборудования. Приведены описания нескольких особо ответственных агрегатов, протоколов их диагностирования и порядок устранения дефектов. В протоколах приведены только дефекты, имеющие уровень развития не ниже среднего.

При подготовке настоящего материала использован опыт автора и его коллег по применению разработанных мер для повышения надежности реально существующих и эксплуатируемых машин на нашем предприятии.

На схеме агрегата приняты обозначения В,Г,О указывают направление измерений СКЗ виброскоростей соответственно: вертикальное, горизонтальное и осевое и их значения в мм/сек. С целью предоставления компактности доклада предусмотрены:

- сокращение в фрагментах протоколов вибродиагностирования с оценками “Допустимо” и “Допустимо после ремонта”;
- дополнительные рекомендации и комментарии о необходимости виромониторинга данного оборудования и его периодичность;
- цифрами обозначены номера опор;
- ЭД – электродвигатель;
- СКЗ- среднеквадратичное значение;
- КИПВ- контрольные измерения параметров вибрации.

**Пример 1.**

1.1 После ремонта электродвигателя и установки его на технологическую позицию перед центровкой валов и подключения к насосу произведено виброобследование ЭД.

**Фрагмент Протокола диагностирования**

**Цех:** Установка пиролиза углеводородов нефти (ц.401)

**Агрегат:** Н-10/1 насос для откачки воды, НК 210/200

**Дата диагноза:** 03.10.2011 14:57:54

**Частота вращения:** 2 980.51 об/мин. (Мощность ЭД 300 кВт)

**Электродвигатель**

Вероятн.,%	Сила	Название дефекта
78	Средний	Отсутствие жесткости крепления опоры 1
82	Средний	Отсутствие жесткости крепления опоры 2
80	Средний	Незакрепленность агрегата к фундаменту
95	Сильный	Повышенная вибрация на опоре 1
95	Сильный	Повышенная вибрация на опоре 2

**Заключение:**

Оценка: **Недопустимо после ремонта.**

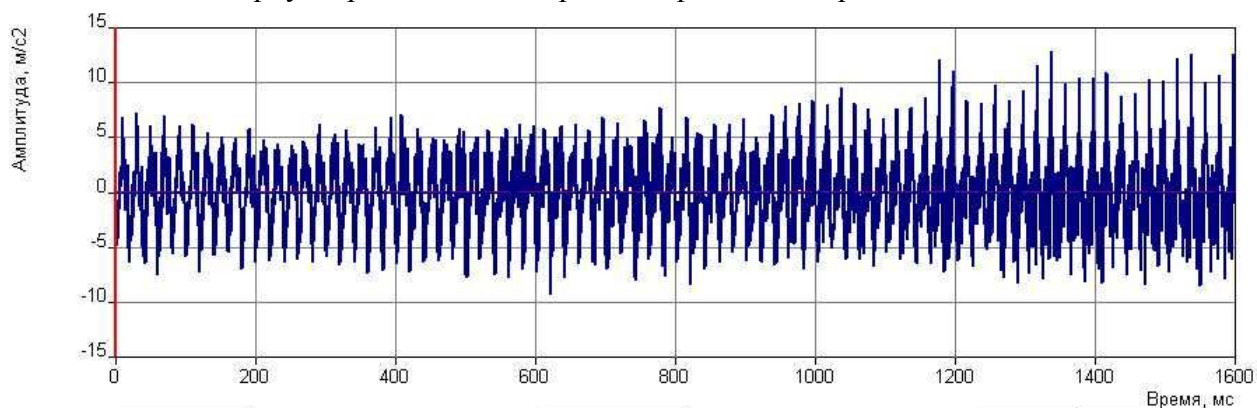
**Комментарии:**

Измерения вибрации в режиме реального времени показали, что уровень СКЗ виброскорости в горизонтальном направлении является не стабильным и изменяется от 3 мм/с до 6 мм/с, с периодичностью 1 минута, при этом вибрация в вертикальном направлении (4,1 мм/с) практически не меняется.

Проведенные исследовательские мероприятия позволяют сделать предположение, что высокий уровень вибрации и ее нестабильность в горизонтальном направлении являются следствием недостаточной площади опорной поверхности лап электродвигателя.

В результате «принудительного» притягивания лап происходила деформация корпуса электродвигателя, что приводит к высоким уровням вибрации.

Рис.1. Сигнал виброускорения 1кГц опоры 1 направление горизонтальное.

**Рекомендации:**

Увеличить опорную поверхность прилегания лап электродвигателя к раме.

Рис.2. Фото опорных поверхностей лап электродвигателя.



1.2 Состояние агрегата после проведения дополнительных мероприятий (доработка опорной поверхности лап), инициированных группой вибродиагностики

#### Фрагмент протокола диагностирования

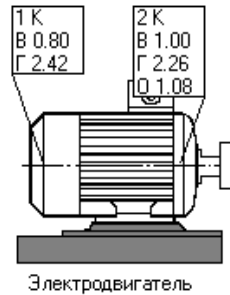
**Цех:** Установка пиролиза углеводородов нефти (ц.401)

**Агрегат:** Электродвигатель насоса для откачки воды, НК 210/200 поз.Н-10/1

Дата диагноза: 10.10.2011

Частота вращения: 2998.86 об/мин. (Мощность ЭД 300 кВт)

#### Схема агрегата



Электродвигатель

#### Электродвигатель

Исправен

#### Заключение:

Оценка: Допустимо после ремонта.

### Пример 2.

2.1 Диагностирование сетевого насоса СЭ 1250\140 поз.402.Б производилось по графику вибродиагностирования перед ремонтом.

#### Фрагмент протокола диагностирования

**Цех:** Котельный цех

**Агрегат:** Насос СЭ 1250\140 поз.402-Б

Дата КИПВ/диагноза: 05.07.2011 16:12:09 / 06.07.2011

Частота вращения: 1 485.24 об/мин. (Мощность ЭД 500 кВт)

#### Схема агрегата



Электродвигатель

Исправен

#### Насос

Вероятн.,%	Сила	Название дефекта
95	Сильный	Повышенная вибрация на опоре 4
95	Сильный	Дефект рабочего колеса
95	Сильный	Дефект подшипника 4

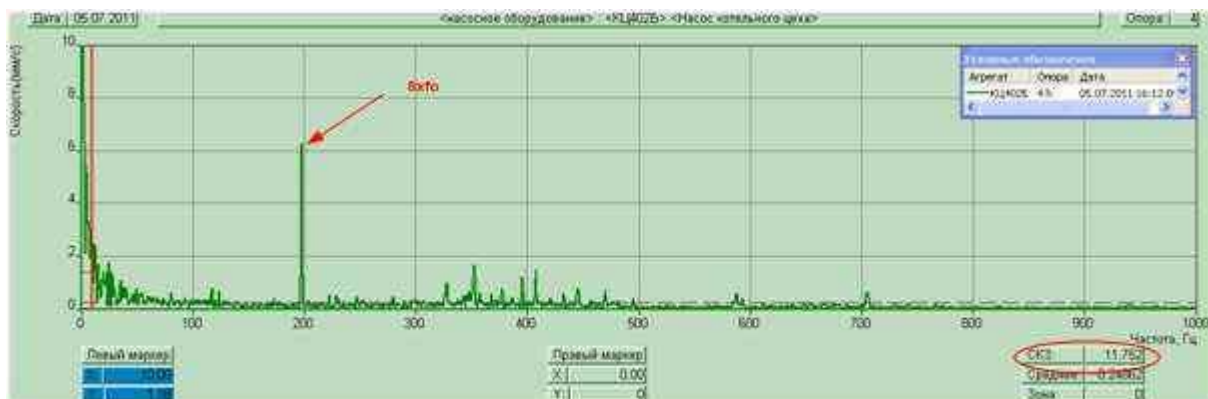
#### Заключение:

Оценка: **Останов** (агрегат имеет существенные дефекты, эксплуатация не разрешается).

**Комментарии:**

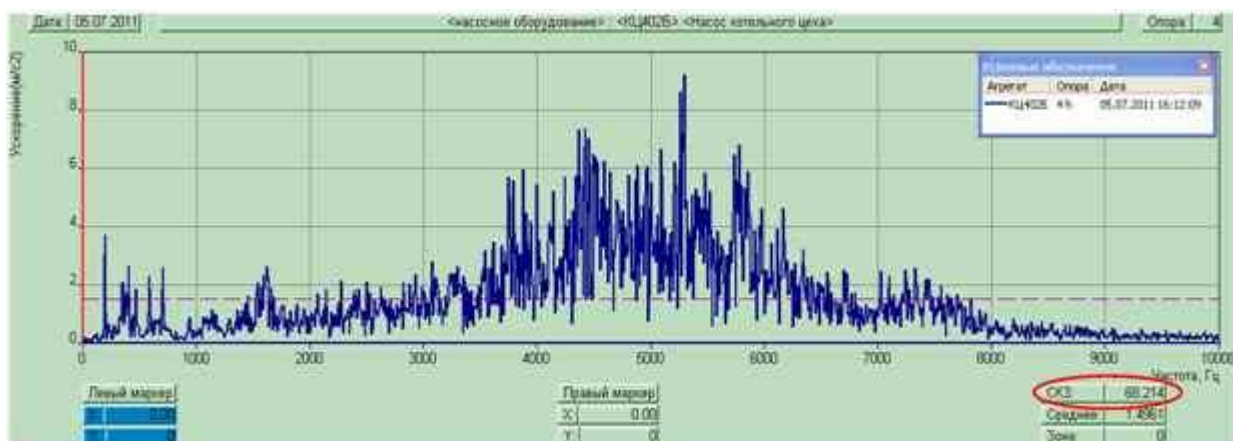
Основными причинами повышенной вибрации агрегата являются: дефект рабочего колеса насоса (См. Рис.13), дефект подшипника опоры №4 (См. Рис.14).

Рис.3. Спектр СКЗ виброскорости опоры № 4 – направление осевое.



Основной вклад в повышенное значение вибрации агрегата вносит восьмая гармоника оборотной частоты (198,13 Гц), что свидетельствует о дефекте рабочего колеса насоса.

Рис.4. Спектры виброускорения от 10 до 10 000 Гц. Подшипниковая опора № 4 – горизонтальное направление.



Значение СКЗ виброускорения составляет  $68 \text{ м/с}^2$ , что свидетельствует о развитии трения в подшипниковом узле опоры 4.

**Рекомендации:**

Произвести замену подшипника опоры 4, ремонт/замену рабочего колеса насоса.

Рис.5. Фото демонтированного рабочего колеса с дефектом одной лопатки (слева) и подшипника опоры 4(справа).



2.2 Состояние агрегата после проведения дополнительных мероприятий (замена подшипника, замена колеса), инициированных группой вибродиагностики

#### Фрагмент протокола диагностирования

**Цех:** Котельный цех СГЭ  
**Агрегат:** Насос СЭ 1250/140 поз. КЦ-402-Б  
**Дата ВД/диагноза:** 02.02.2012 16:51:00 / 03.02.2012  
**Частота вращения:** 1 479.38 об/мин. (Мощность ЭД 500 кВт)



#### Агрегат

Исправен

#### Заключение:

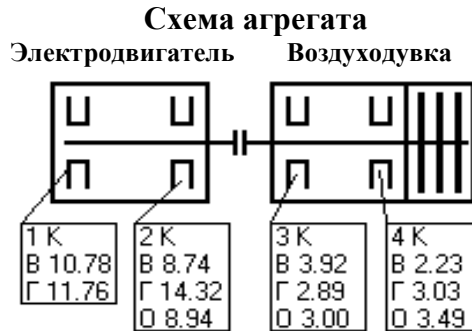
Оценка: **Допустимо.**

### Пример 3.

3.1. Проведение диагностирования выполнялось по заявке механика установки, причиной которой являлась повышенная вибрация агрегата.

#### Фрагмент протокола диагностирования

**Цех:** Установка производства и дополнительной переработки полиэтилена на основе технического углерода (ц. 410, 411)  
**Агрегат:** Воздуходувка GRF300/1150 поз.5010.1  
**Дата диагноза:** 06.07.2011  
**Частота вращения:** 2 984.60 об/мин. (Мощность ЭД 300 кВт)



#### Электродвигатель

Вероятн.,%	Сила	Название дефекта
78	Средний	Отсутствие жесткости крепления опоры 1,2
82	Средний	Отсутствие жесткости крепления опоры 2
80	Средний	Незакрепленность агрегата к фундаменту
95	Сильный	Повышенная вибрация на опоре 1,2

#### Воздуходувка

Вероятн.,%	Сила	Название дефекта
78	Средний	Несоосность валов агрегата

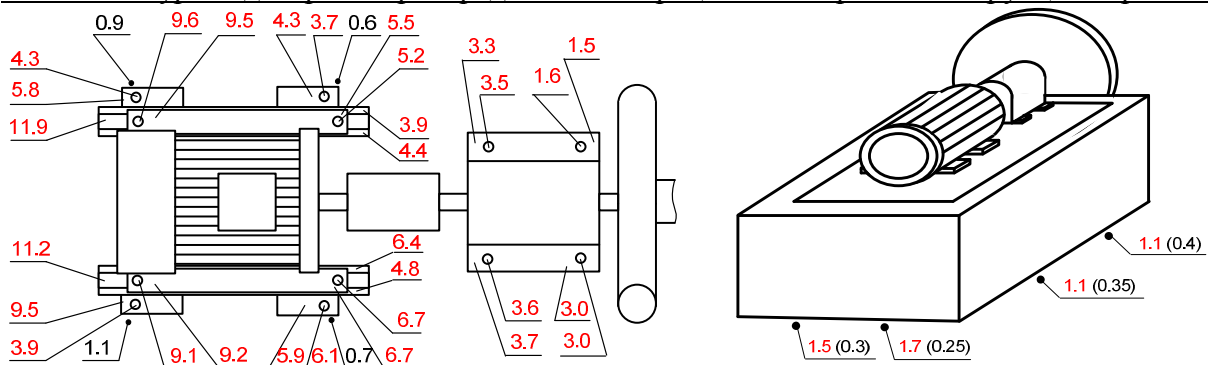
#### Заключение:

Оценка: **Останов** (агрегат имеет существенные дефекты, эксплуатация не разрешается).

#### Комментарии:

Основной причиной повышенной вибрации агрегата является отсутствие жёсткости его опорной системы (имеются механические ослабления крепления агрегата в системе «болт-лапа-рама», а также «рама-анкер-фундамент»). Контурная диаграмма распределения вибрации по опорной конструкции агрегата приведена на Рис.18.

Рис.6. Контурная диаграмма распределения вибрации по опорной конструкции агрегата.



Высокие значения СКЗ виброскорости ( $V_e$  – мм/с) в системе болт-лапа-рама свидетельствует о том, что имеется существенное ослабление опорной системы агрегата. Значение СКЗ виброскорости по периметру фундаментного блока находится в диапазоне 1,1÷1,7 мм/с, для примера в этих же точках по периметру фундаментного

блока соседнего агрегата (воздуходувка поз.5010.2) вибрация составляет  $0,25 \div 0,4$  мм/с, что примерно в 3÷5 раза меньше. На схеме значения СКЗ виброскорости для агрегата 5010.2 указаны в скобках.

Рис.7. Фото опорной конструкции воздуходувки GRF300/1150 5010.1 до ремонта.



Рис.8. Спектр виброускорения. Опора №2- направление вертикальное



В спектре виброускорения доминирует третья оборотная частота ( $3f_0$ ) ротора электродвигателя, что свидетельствует о недостаточной жесткости опорной системы.

#### Рекомендации:

Обеспечить жёсткость опорной конструкции агрегата. Произвести замену анкерных болтов под опорами №1 и №2 электродвигателя. Произвести протяжку всех болтовых соединений крепления станины агрегата к раме (по опорам: 1, 2, 3, 4).

3.2. Состояние агрегата после проведения дополнительных мероприятий (см. выше в рекомендациях), инициированных группой вибродиагностики

#### Фрагмент протокола диагностирования

**Цех:** Установка производства и дополнительной переработки полиэтилена на основе технического углерода (ц. 410, 411)

**Агрегат:** Воздуходувка GRF300/1150 поз.5010.1

**Дата диагноза:** 19.12.2011

**Частота вращения:** 2 984.60 об/мин. (Мощность ЭД 300 кВт)



#### Агрегат

Исправен

**Заключение:**



Оценка: **Допустимо после ремонта.**

Рис.9. Фото опорной конструкции воздуходувки GRF300/1150 5010.1 после ремонта.



#### Пример 4.

4.1 Обследование агрегата проводилось по графику после ремонта.

#### Фрагмент протокола диагностирования

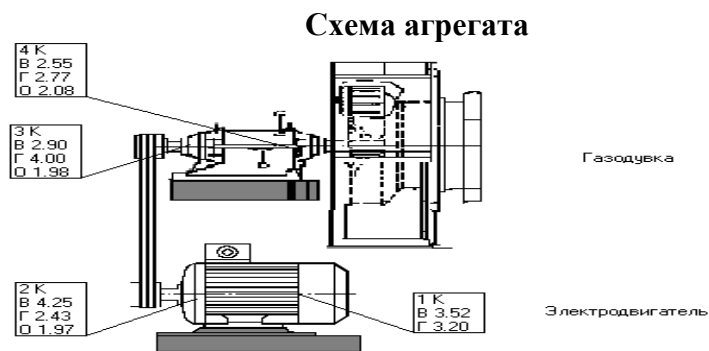
##### Производство полипропилена

**Цех:** Установка полимеризации пропилена (ц.101)

**Агрегат:** Газодувка RH 3U355 RGX, G290 поз.Р14AS

**Дата диагноза:** 23.11.2011

**Частота вращения:** 1 498.80 об/мин. (Мощность ЭД 40 кВт)



Исправен		
<b>Газодувка</b>		
Вероятн.,%	Сила	Название дефекта
95	Средний	Дефект подшипников опор 3 и 4

#### Заключение:

Оценка: **Недопустимо после ремонта (вывод из ремонта не разрешается).**

**Комментарии:** Уровень СКЗ виброускорения подшипников опор 3 и 4 составляет – **101,23 м/с<sup>2</sup>** и **95,72 м/с<sup>2</sup>**, что свидетельствует о повышенном трении в подшипниковых узлах, См.Рис.22.

После ремонта от 26.10.2011г. спектр СКЗ виброускорения 10 000 Гц, см.Рис.23.

После ремонта от 20.07.2011г. наблюдалась аналогичная ситуация, см.Рис. 24, в результате подшипники отработали менее месяца.

Рис.10. Спектр виброускорения 10 000 Гц опоры 3 от 23.11.2011г.



Рис.11. Спектр виброускорения 10 000 Гц опоры 4 от 26.10.2011г.

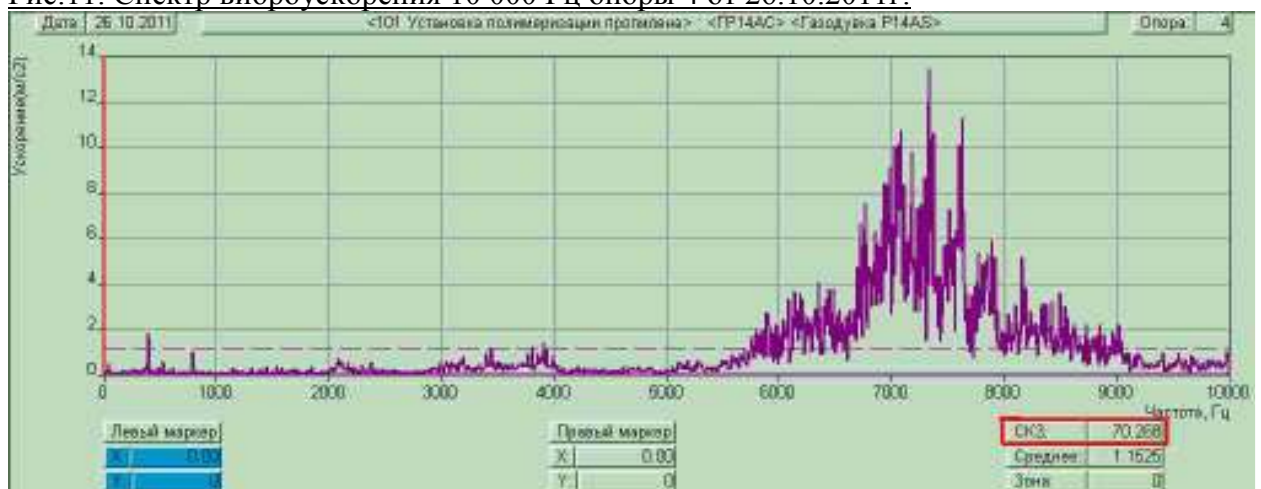


Рис.12. Спектр виброускорения 10 000 Гц опоры 4 от 20.07.2011г.

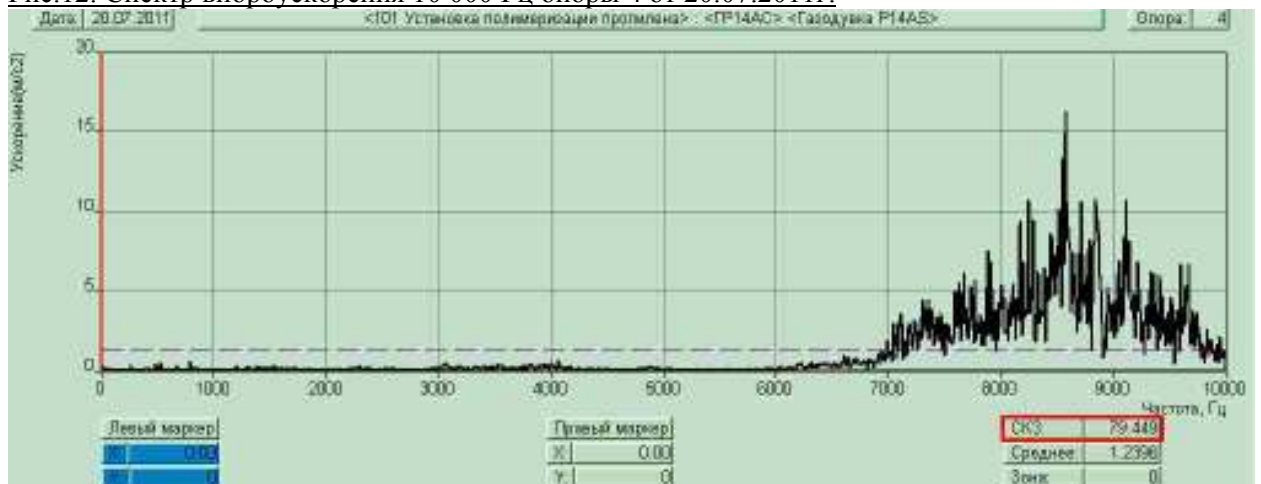


Рис.13. Фото демонтированного подшипника опоры 3.

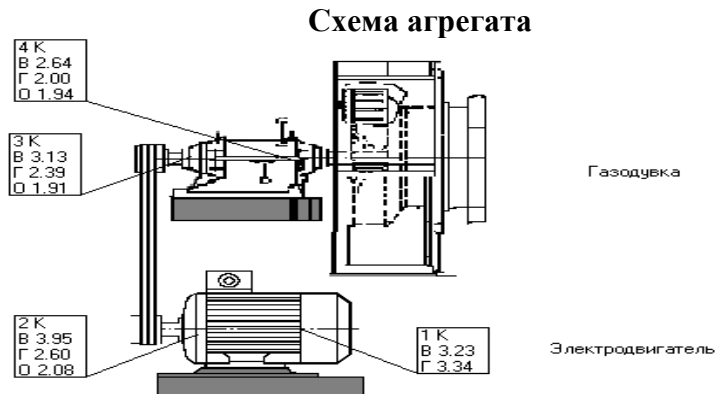


4.2 Состояние агрегата после проведения дополнительных мероприятий, инициированных группой вибродиагностики

### Фрагмент протокола диагностирования

#### Производство полипропилена

**Цех:** Установка полимеризации пропилена (ц.101)  
**Агрегат:** Газодувка RH 3U355 RGX, G290 поз.P14AS  
**Дата диагноза:** 25.11.2011  
**Частота вращения:** 1 498.29 об/мин. (Мощность ЭД 40 КВт)



### Агрегат

Исправен

#### Заключение:

Оценка: Допустимо после ремонта.

### Пример 5.

5.1 Обследование проводилось по графику перед ремонтом.

### Фрагмент Протокола диагностирования

#### Производство полиэтилена

**Цех:** Установка полимеризации этилена (ц.408)  
**Агрегат:** Экструдер ЧПСп 320х10 поз.А-404/1  
**Дата диагноза:** 19.12.2011  
**Частота вращения:** 482.61 об/мин. (Мощность ЭД 500 КВт)

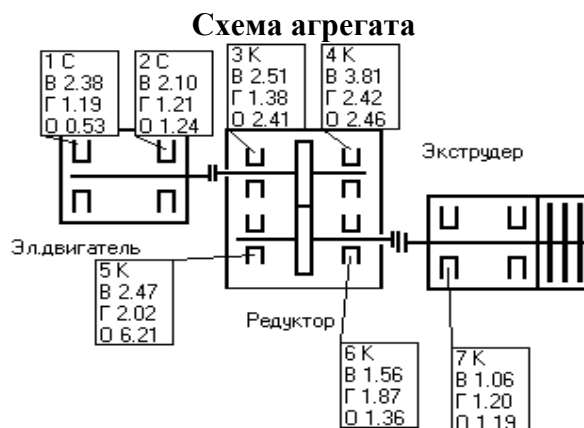


Рис.14. Фото Экструдер ЧПСп 320x10 поз.А-404/1



### Электродвигатель

Исправен

### Редуктор

Вероятн.,%	Сила	Название дефекта
95	Сильный	Дефект зубчатого зацепления редуктора
95	Сильный	Несоосность валов редуктора

### Экструдер

Исправен

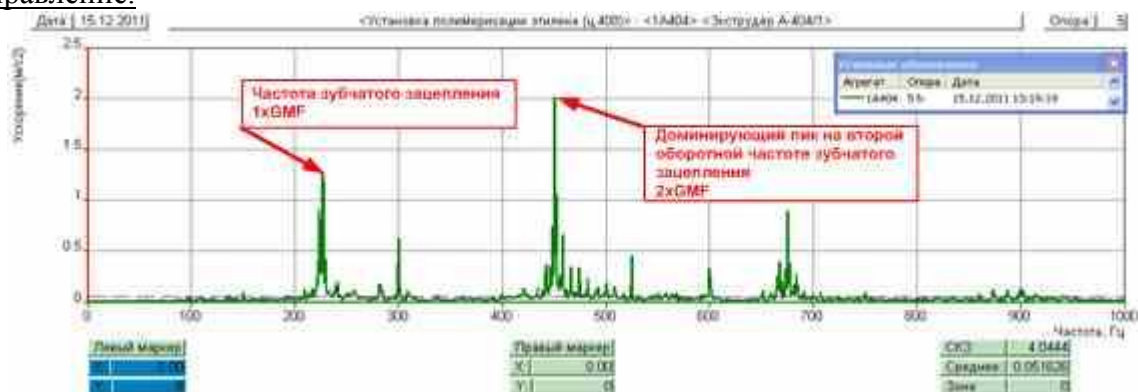
### Заключение:

Оценка: **Требуется принятия мер** (допускается непродолжительная эксплуатация, характеризует наличие существенных дефектов и повышенную вероятность отказа).

### Комментарии:

Основной причиной повышенной вибрации является несоосность зубчатой передачи (См. Рис.27).

Рис.15. Прямой спектр виброускорения от 2-1000 Гц. Опора № 5, горизонтальное направление.



Возбуждение второй гармоники зубчатого зацепления вызвано несоосностью валов редуктора. Вследствие данного дефекта наблюдается повышенное значение СКЗ виброскорости в осевом направлении на опоре № 5.

### Рекомендации:

1. Обеспечить проведение КИПВ 1 уровня (вибромониторинг агрегата) – не менее 1 раза в сутки. При резком изменении уровня вибрации относительно значений данного обследования (в 1,5 и более раз, но не менее чем на 1 мм/с) инициировать проведение ВД (КИПВ 2 уровня).

2. В период очередного планового ремонта: произвести ревизию зубчатого зацепления редуктора (проверить параллельность укладки зубчатой пары), ревизию подшипника опоры №5.

В результате ревизии редуктора экструдера поз. А-404/1 выявлен небольшой перекося шевронной передачи. Поскольку ремонт данного дефекта длительный, были разработаны корректирующие мероприятия по устранению дефекта в период остановочного ремонта (ревизия и ремонт посадочных мест подшипников редуктора, параллельную укладку валов и шевронной передачи), а до ремонта организован периодический контроль параметров вибрации.

Рис.16. Фото шевронной передачи на ревизии.

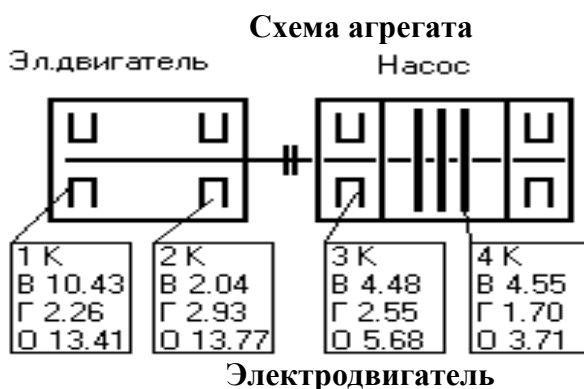


### Пример 6.

6.1 Обследование проводилось по графику после ремонта агрегат находился в продолжительном простое, данные о состоянии агрегата до ремонта отсутствуют.

#### Фрагмент Протокола диагностирования

**Цех:** Котельный цех  
**Агрегат:** Насос СЭ 1250\140 поз.КЦ402-В  
**Дата диагноза:** 03.02.2011  
**Частота вращения:** 1 489.98 об/мин. (Мощность ЭД 500 кВт)



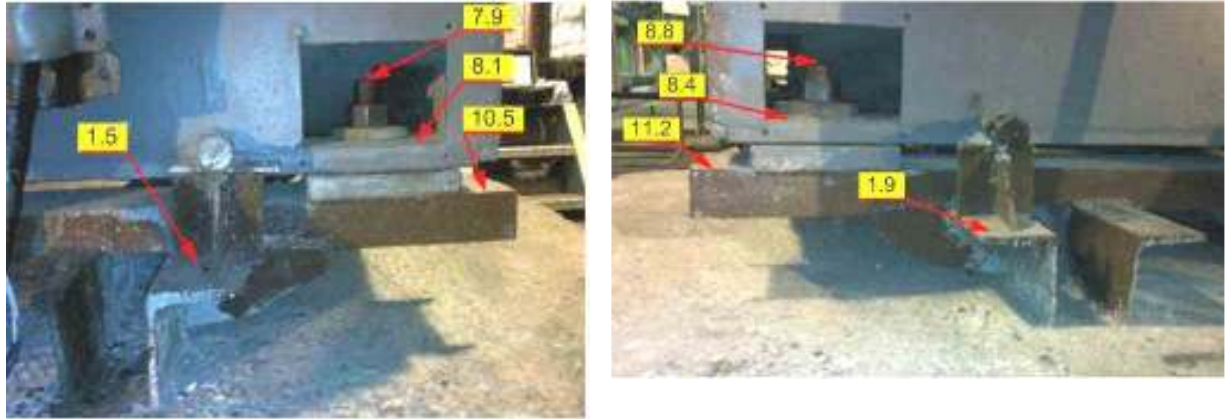
Вероятн.,%	Сила	Название дефекта
95	Сильный	Повышенная вибрация на опоре 1,2

#### Насос

Вероятн.,%	Сила	Название дефекта
86	Средний	Дефект зацепления муфты

Оценка: "Останов".

Рис.17. Фото опорной конструкции электродвигателя насосного агрегата СЭ. Опор 1,2 (задняя левая лапа двигателя, задняя правая лапа двигателя соответственно). Контурная диаграмма опоры 1 Электродвигателя Шпилька-Лапа-Рама-Закладная фундамента.



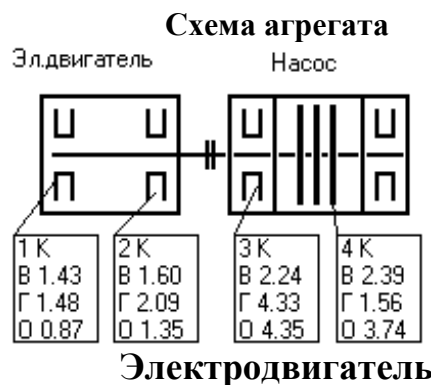
**Рекомендации:** Произвести укрепление опорной конструкции опоры №1, ревизию муфтового соединения.

*Комментарии:* Из-за длительного технологического простоя агрегата вибрационное обследование до ремонта не проводилось, дефект опорной системы можно было определить ещё ранее. Однако агрегат после ремонта не проходил регламентную обкатку. В течение 2011г. были проведены строительно-монтажные работы на данной позиции по замене рамы и фундамента.

6.2 Состояние агрегата после проведения дополнительных мероприятий, инициированных группой вибродиагностики.

#### Фрагмент Протокола диагностирования

**Цех:** Котельный цех  
**Агрегат:** Насос СЭ 1250\140 поз.КЦ402-В  
**Дата диагноза:** 27.12.2011  
**Частота вращения:** 1 489.98 об/мин. (Мощность ЭД 500 кВт)



Исправен

#### Насос

Вероятн.,%	Сила	Название дефекта
86	Средний	Дефект зацепления муфты

#### Заключение:

Оценка: Допустимо после ремонта.

**Комментарии:** Дефект зацепления муфты не критичен, требуется периодический вибромониторинг состояния агрегата.

**Рекомендации:**

В период очередного ТР или технологического останова произвести ремонт муфтового соединения.

Рис.18. Фото опорной конструкции ЭД насосного агрегата СЭ после ремонта

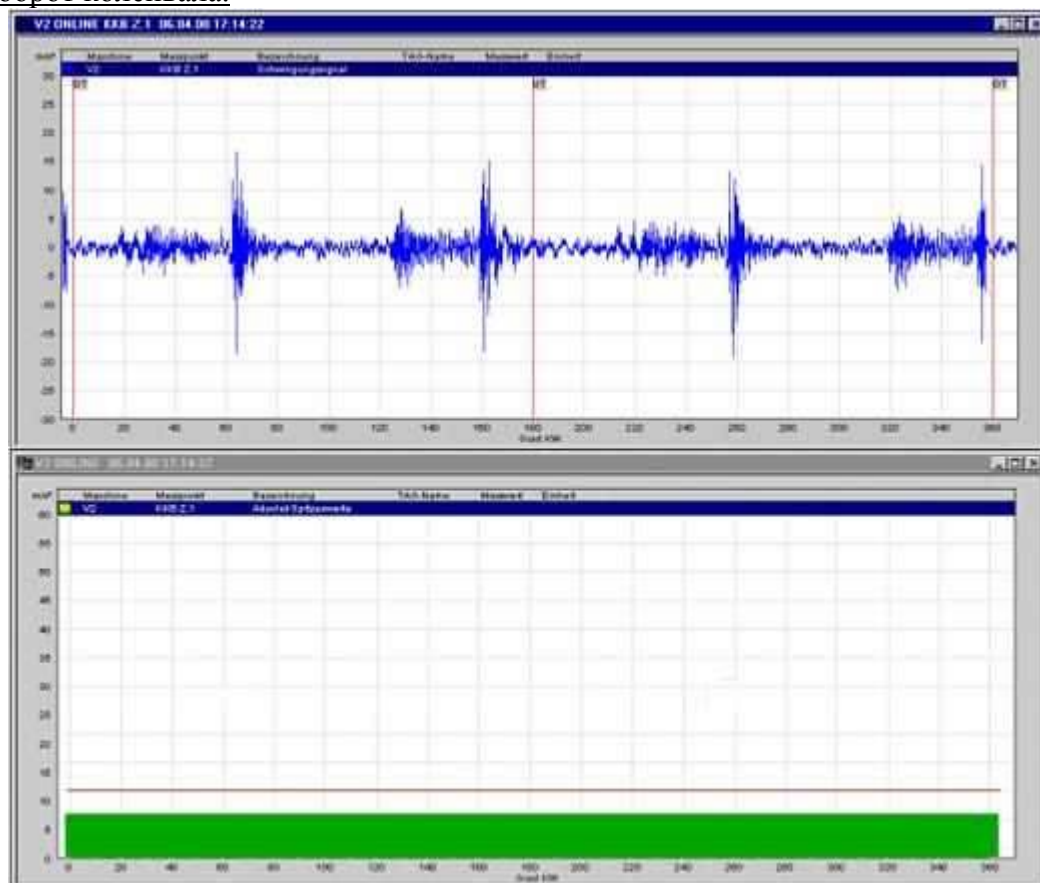


## Стационарная система диагностирования поршневых компрессоров PROGNOST

Краткие сведения о системе PROGNOST:

При вибрационном обследовании механизмов роторного типа пока ещё использовался “простой” метод мониторинга **среднего** уровня вибрации См.Рис.31.

Рис.19. Сигнал виброускорения (сверху) и уровень СКЗ вибросигнала (снизу) за один оборот коленвала.



В системе PROGNOST предусмотрен **сегментированный** анализ вибрации, в зависимости от угла поворота коленчатого вала:



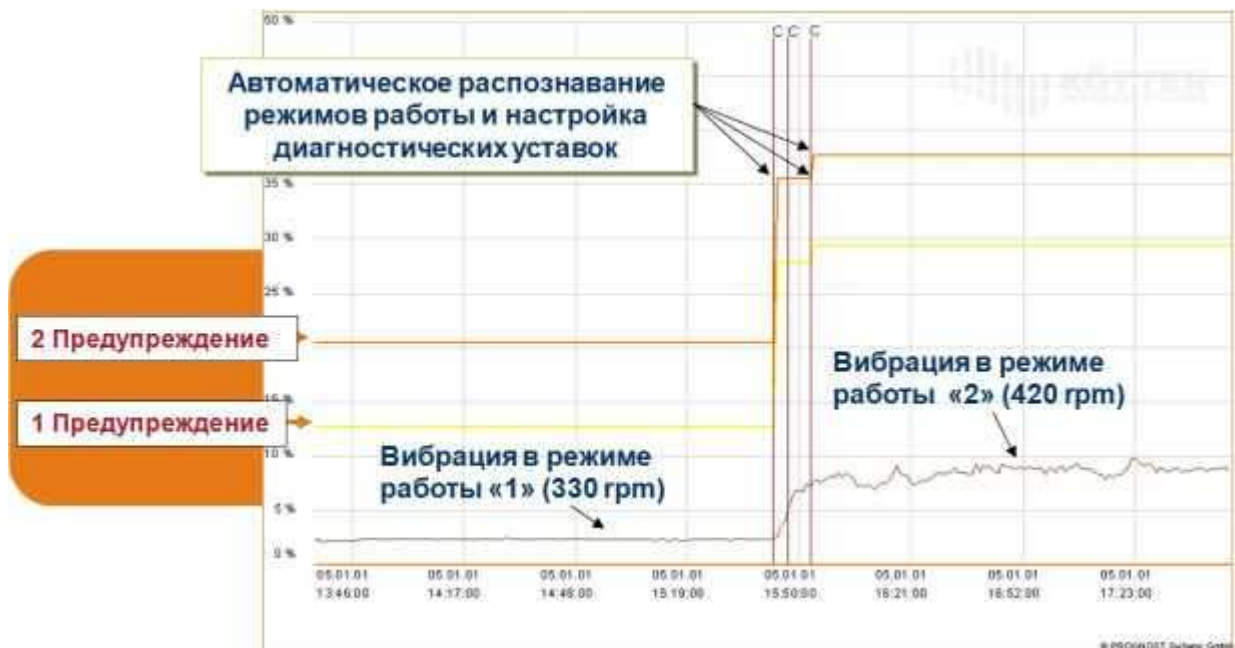
В течение каждого оборота, временное представление вибросигнала разделяется на 36 сегментов, каждый по 10 градусов поворота коленчатого вала. Таким образом, устанавливается взаимосвязь между вибрационными событиями и углом поворота коленвала в зависимости от функционирования компрессора, например: открытие/закрытие всасывающих/нагнетаельных клапанов, вибрация в момент реверса механизма движения и другие. Рассчитываются индивидуальные значения СКЗ или абсолютных максимумов для каждого сегмента, которые сравниваются с соответствующими индивидуальными уставками.

Рис.20. Сигнал виброускорения и значения СКЗ по каждому из сегментов.



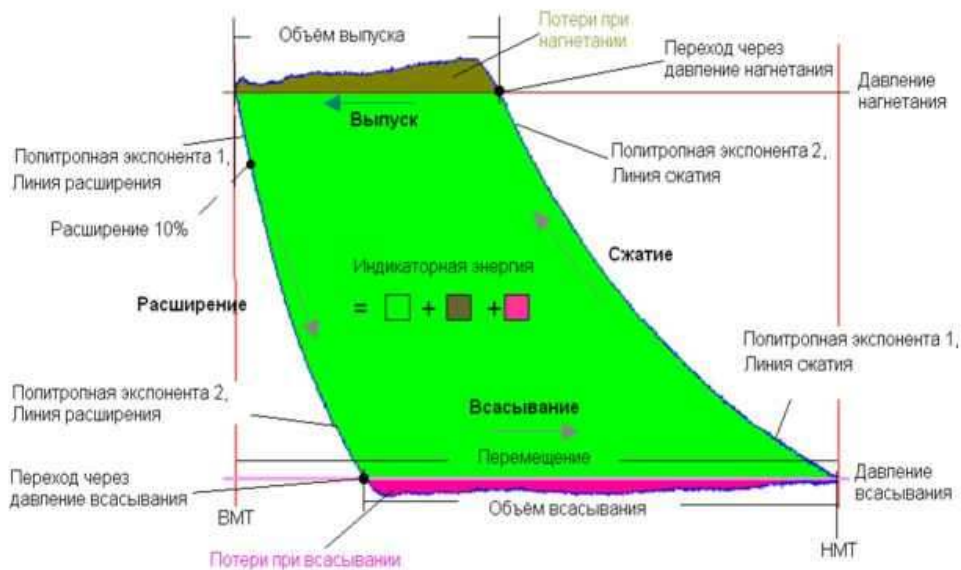
В зависимости от технологического режима работы поршневого механизма автоматически изменяется уставка для всех сегментов индивидуально для каждого компрессора. См.Рис.33.

Рис.21. Тренд виброускорения и автоматического выбора уставки в зависимости от технологического режима поршневого механизма.



Принятая и записанная кривая давления конвертируется в диаграмму зависимости давление-объём (pV-диаграмма), для которой рассчитываются характеристические значения для определённых фиксированных точек. Повреждение клапанов, поршневых колец и уплотнений, приводящие к утечкам, вызывают изменения характеристических значений на измеренной кривой давления.

Рис.22. Анализ P-v диаграмм.

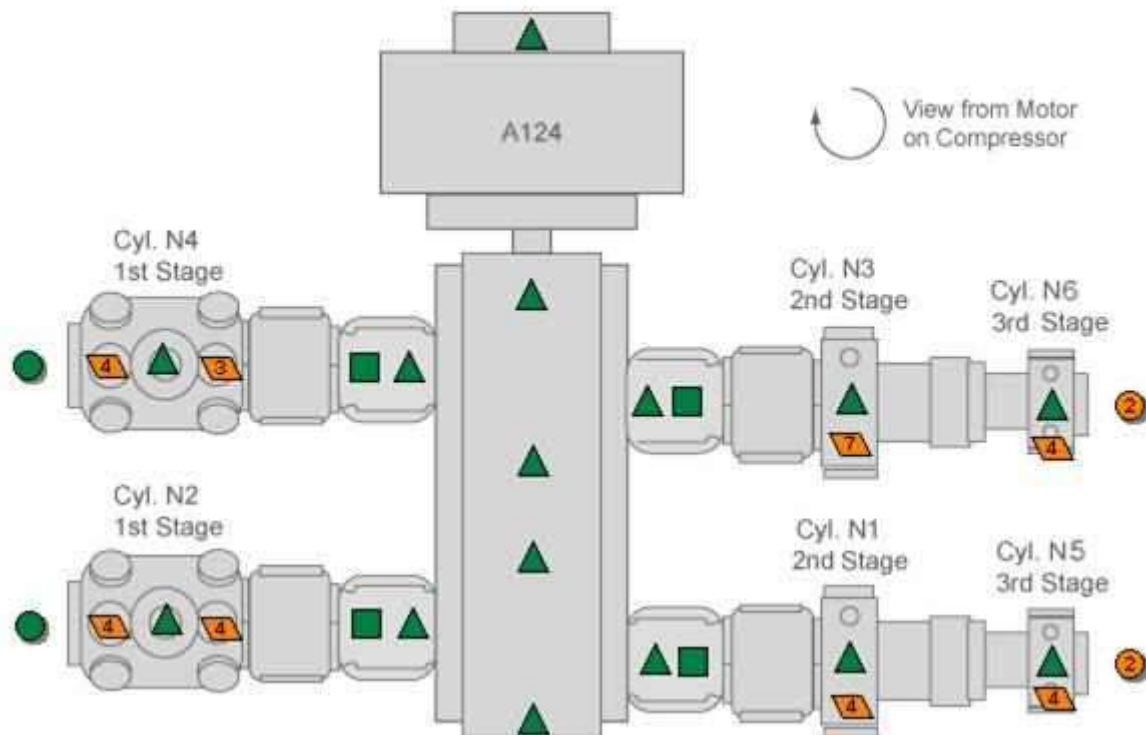


**Системы PROGNOST® не адаптированы для поршневых машин, а специально разработаны для мониторинга машин возвратно-поступательного действия.**

### Пример 7.

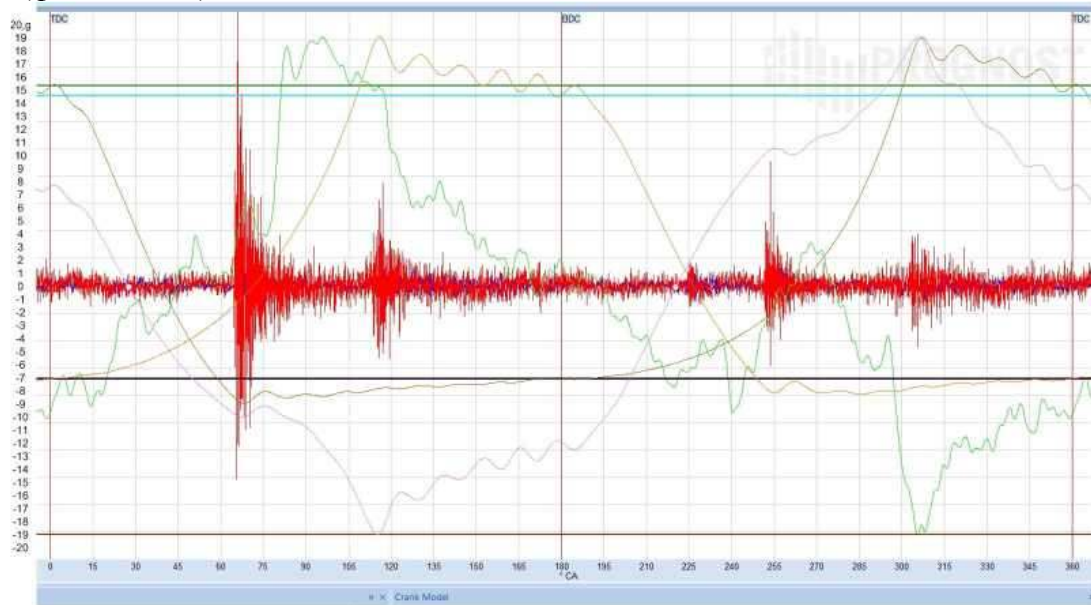
7.1 Обследование поршневого компрессора 1 каскада Производства полиэтилена PT1.4M16-12,5/17-281M1 поз.А-124 с помощью диагностической системы PROGNOST.

#### Схема агрегата



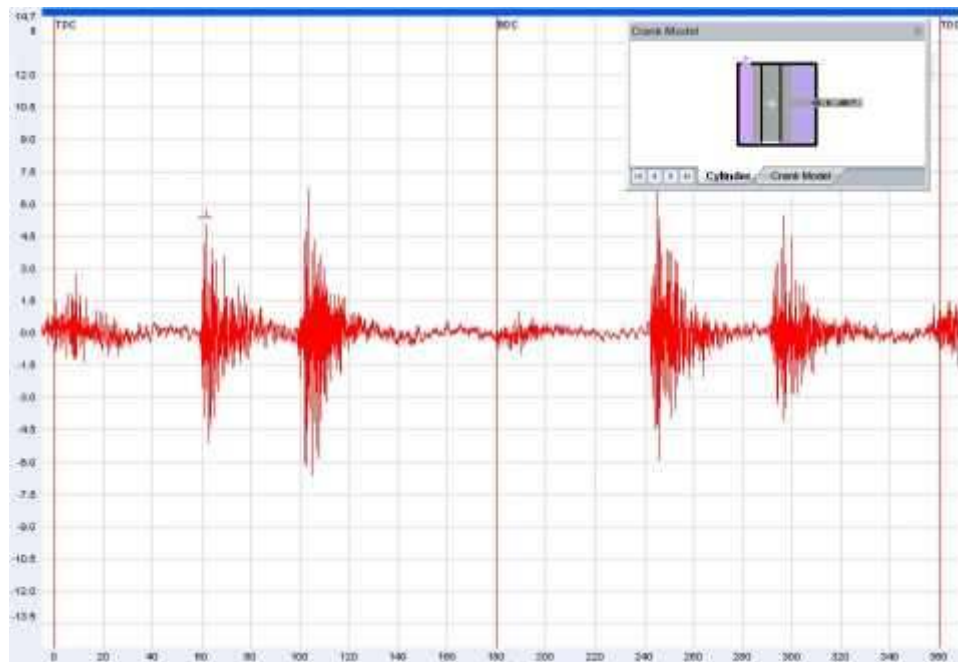
При использовании сегментированного анализа вибрации, сигналов виброускорения используя стационарную систему Prognost совместно со специалистами фирмы «Новые технологии мониторинга» выявили неисправность всасывающего клапана со стороны крышки цилиндра №4.

Рис.23. Сигнал виброускорения 4-го цилиндра компрессора поршневого РТ1.4М16-12,5/17-281М1 поз.А-124 (красный), сигналы с датчиков давления со стороны головки цилиндра (коричневый), со стороны коленчатого вала (зелёный) и усилия поршневого штока (фиолетовый). Дата обследования: 24.01.2012



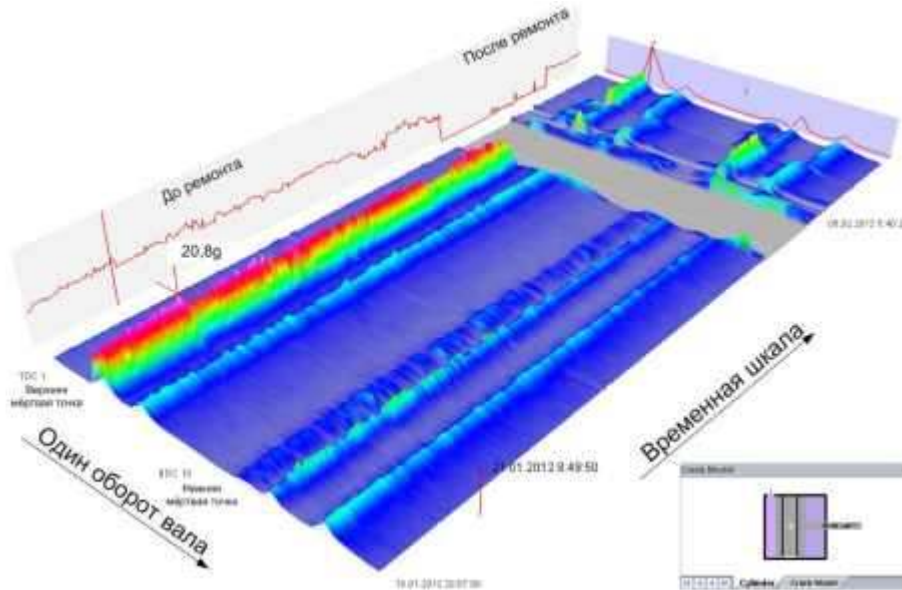
В период ремонта рекомендовали заменить всасывающий клапан цилиндра №4 со стороны головки цилиндра.

Рис.24. Сигнал виброускорения цилиндра 4 компрессора поршневого РТ1.4М16-12,5/17-281М1 поз.А-124 на 15.02.2012. После ремонта.



В ходе ремонта клапан был заменён, в результате вибрация значительно снизилась (в 1.5 раза).

Рис.25. 3D-Спектр амплитуды виброускорения 4-го цилиндра компрессора поршневого РТ1.4М16-12,5/17-281М1 поз.А-124.



При вскрытии клапана в канавке под пластиной клапана обнаружился обломок материала, из которого изготовлены кольца цилиндра. При работе компрессора в процессе открытия клапана обломок вызывал вибрацию при прохождении газа сквозь клапан. Оказалось, что клапан исправен, но мог выйти из строя при измельчении материала обломка и попадании его под пластину клапана. Кроме того, по наличию обломка можно предположить, что одно из колец указанного цилиндра требует замены при следующем ремонте.

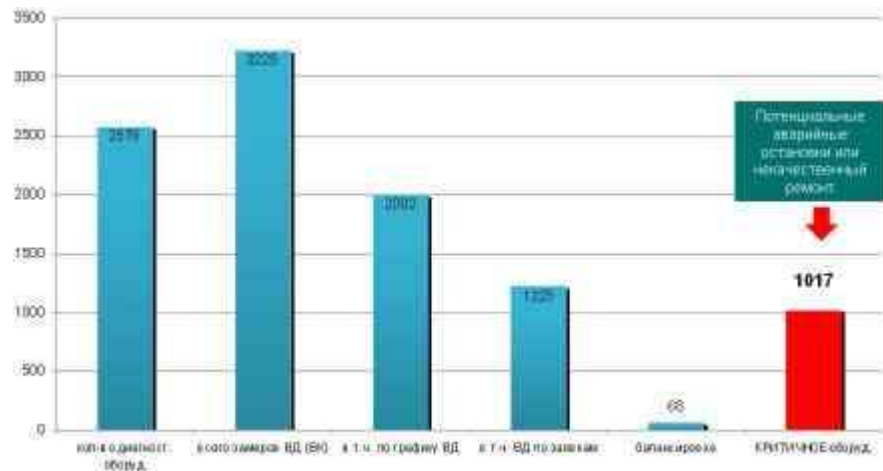
Рис.26. Фото всасывающего клапана 4-го цилиндра компрессора поршневого РТ1.4М16-12,5/17-281М1 поз.А-124.



Под пластиной клапана в канавке обнаружен обломок кольца (поршневое кольцо или опорно-направляющее).

## Заключение:

### Общая статистика работы группы вибродиагностики за период с июня 2010 по декабрь 2011 (19 мес.).



Вибродиагностирование агрегатов на первых этапах перехода к системе ремонта “по техническому состоянию”, в основном, уже позволило определить реальное техническое состояние агрегатов, найти проблемные места оборудования, накопить базу данных вибросостояния оборудования. Вибрационные обследования позволяют своевременно принять меры к оборудованию с критичными оценками по результатам вибродиагностирования, а так же допустить увеличение межремонтных интервалов при отсутствии дефектов в оборудовании и при организованном периодическом виброконтроле и вибродиагностировании.

Томский опыт вибродиагностики, квалификация наших специалистов и хорошо налаженная работа диагностической службы предприятия подтверждает реальность планов «Томскнефтехим» в переходе на техническое обслуживание и ремонт оборудования по техническому состоянию совместно с надёжными партнёрами ЗАО «ПромСервис», «НТМ» и «Prognost». Но для этого ещё многое нужно сделать: накопить опыт, укомплектоваться резервным оборудованием, получить формально согласованное право на такой переход.