

АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА «ЗДОРОВЬЯ» ОБОРУДОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО- ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

ПРОРЫВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ РОССИИ

**40 лет развития теории и практики
вибродиагностического мониторинга оборудования**

**Технологическая платформа КБПЭ
20 мая 2014 г.**

**Костюков В.Н., д.т.н., профессор, член-корр. РИА
Генеральный директор ООО НПЦ «ДИНАМИКА» г. Омск,
лауреат премии Правительства Российской Федерации**

План

1. Проблемы эксплуатации оборудования производства и транспорта
2. Решение проблем эксплуатации – автоматические системы мониторинга «здоровья» (неисправностей и риска) в реальном времени (АСМРВ)
3. Отраслевые и Федеральные стандарты по мониторингу
4. Комплексные АСМРВ машин и резервуаров
5. АСУБЭР - АСУ безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией
6. Стендовые системы входной/выходной диагностики для ремонта и производства – прогноз ресурса на ПСИ
7. Мониторинг риска эксплуатации ОПО в реальном времени
8. Безопасная ресурсосберегающая технология эксплуатации оборудования в реальном времени Safe-Money-Saving-Real-Time-Maintenance™ (SMSRTM™) на основе АСМРВ - **обеспечивает безопасность, эффективность и окупаемость**

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРИЧИНЫ ВЫСОКИХ ЗАТРАТ И ПОТЕРЬ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

ПРИЧИНЫ:

1) **ПЛОХАЯ
НАБЛЮДАЕМОСТЬ**

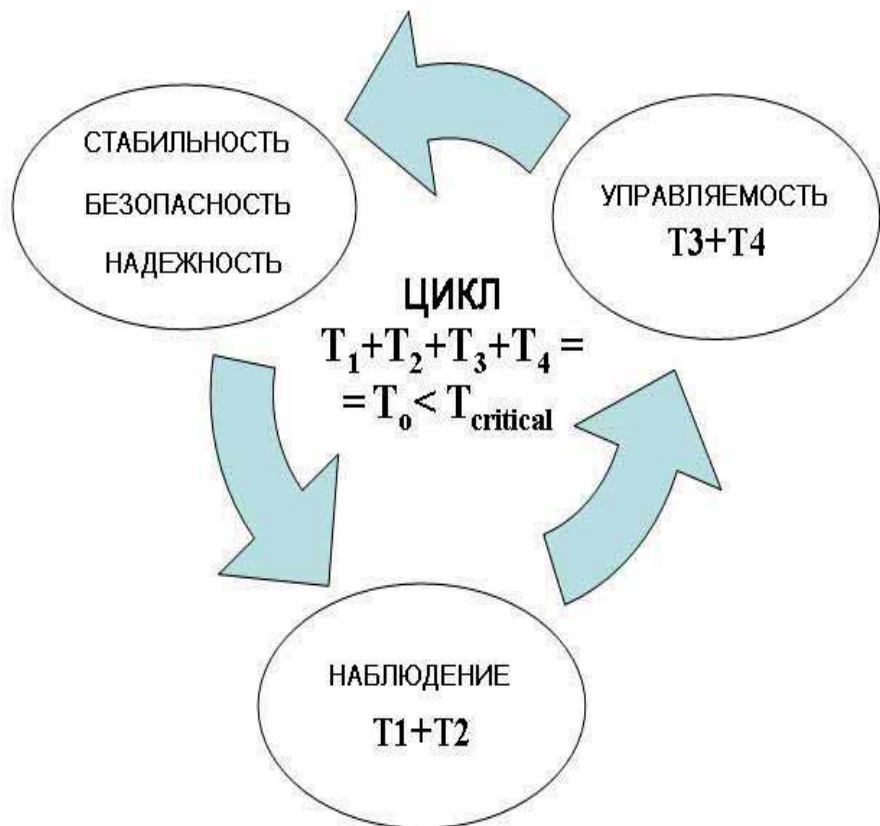
2) **ЗАТРУДНЕННАЯ
УПРАВЛЯЕМОСТЬ**

3) **НИЗКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
ПРОЦЕССОВ**

ФАКТОРЫ:

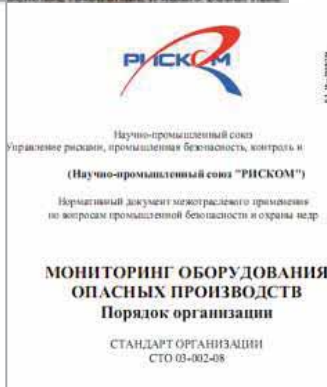
- Трудности выявления скрытых ошибок проектирования, производства, монтажа и эксплуатации
- Скрытый характер зарождения и развития неисправностей
- Плохая наблюдаемость реальных процессов деградации оборудования на протяжении всего жизненного цикла продукции
- Отрицательное влияние «человеческого фактора»
- Субъективность оценки качества агрегатов и их узлов при производстве, ремонте и в эксплуатации
- Не оперативность контроля действий персонала по поддержанию работоспособности оборудования и ведению технологического процесса
- Неэффективности внеплановых и планово-предупредительных ремонтов

Достижение Безопасности возможно при наличии Наблюдаемости и Управляемости



- T1 – Подготовка оборудования к диагностике, Измерение информационных (диагностических) характеристик объекта;
- T2 - Непосредственная формулировка и документирование диагностических предписаний, Регистрация диагностических предписаний, Передача диагностических предписаний, содержащих информацию о состоянии объекта и мерах, необходимых для его улучшения, персоналу, ответственному за техническое обслуживание;
- T3 - Управление действиями персонала, связанными с ремонтом объекта и предотвращением нежелательных последствий;
- T4 - Внесение поправок в действия персонала в случае необходимости;
- Tcritical – наиболее короткий интервал развития неисправности в оборудовании предприятия;
- T0 - интервал мониторинга состояния оборудования в реальном времени

Теория и практика мониторинга отражены в 5 книгах и 10 стандартах, в т.ч. 3 Федеральных



ГОСТ Р 53563 «Системы мониторинга агрегатов опасных производств. Порядок организации» (1)

Выбор объектов мониторинга определяется путем анализа матрицы риска производственного комплекса, принимая во внимание воздействие их отказа на технологический процесс и безопасность производства

Вероятность отказа оборудования	Потери вследствие пропуска отказа системой мониторинга		Техногенная опасность
высокая	I (80-90)% ТЭП	II (20-10)% ТЭП	Есть
низкая	III Небольшие (рост затрат на ремонт)	IV Незначительные (затраты на ремонт)	Нет

25 лет ресурсосберегающей безопасности

Свойства автоматических систем мониторинга по ГОСТ Р 53564

1 Количество и вид используемых МНК;	7 Число измерительных каналов системы;
2 Тип экспертной системы;	8 Способ опроса датчиков;
3 Объем выявляемых неисправностей;	9 Архитектура системы;
4 Величина статической ошибки распознавания;	10 Тип используемого анализатора сигналов;
5 Величина динамической ошибки распознавания состояния оборудования;	11 Тип индикатора состояния;
6 Величина риска пропуска внезапного отказа;	12 Наличие и уровень диагностической сети;
	13 Тип управления.

Совокупность этих взаимосвязанных факторов, определяет **класс К** каждой конкретной системы и классы оборудования ОПТК для которых они могут быть полезны. Внутри каждого фактора выделяется несколько уровней, оцениваемых в баллах от 1 до 4

$$K = \text{int}(1 + \log_A (\prod R_i)), \text{ где } A = 10 \text{ для ОТП, } 6 \text{ для ОПО, } 3 \text{ для КВО, } 2 \text{ для СВО}$$

Таблица

Динамическая ошибка **d** в зависимости от статической **S** и отношения уровней **НДП/ТПМ – G** для экспоненциального и линейного трендов

ТРЕНД	G	S, %	1	4	6	10
Экспоненциальный, $d_{SHE}, \%$	2,5		1,1	4,4	6,7	11,6
	1,25		4,5	18,6	28,6	49,7
Линейный, $d_{SHL}, \%$	2,5		1,65	6,9	10,6	18,3
	1,25		5,0	20,8	31,9	55,0

НЕИСПРАВНОСТИ МАШИННЫХ АГРЕГАТОВ, КОТОРЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИ ОБНАРУЖИВАЕТ, ИДЕНТИФИЦИРУЕТ И УКАЗЫВАЕТ ПЕРСОНАЛУ ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА «КОМПАКС®»

(Стандарт «Ростехэкспертизы» СА-03-002-05; ГОСТ Р 53564-2009)

№ п.п. Класса	Вид неисправности	№ п.п. Класса	Вид неисправности
1	подшипника: недостаток смазки перекос ослабление дефект внешней обоймы дефект внутренней обоймы дефект тел качения дефект сепаратора	5	поршневых компрессоров: клапанов кривошипно-шатунной группы ослабление гайки поршня коренных подшипников заброс конденсата
2	механизма: дефекты муфты дефекты зубчатых передач	6	Гидро-газодинамические: кавитация гидроудар прохват помпаж (предпомпажное состояние)
3	машины: дисбаланс ротора нарушения крепления дефекты рабочего колеса срез вала недопустимое биение ротора недопустимый осевой сдвиг		
4	агрегата: нарушение центровки валов нарушение крепления к фундаменту и присоединенным конструкциям	7	электрические: перегрузка по току перекос фаз дефекты статора дефекты ротора
		8	температурные: перегрев неравномерность нагрева
		9	прочие: состояние торцовых уплотнений

Нормы вибрации и установка датчиков по ГОСТ Р 53565-2009 без нарушения корпусов взрывозащищенного оборудования

- среднее квадратическое значение виброускорения A_e в полосе частот $(2)10 \dots 3000$ (10 000) Гц;
- среднее квадратическое значение виброскорости V_e в полосе частот $(2)10 \dots 1000$ Гц;
- среднее квадратическое значение виброперемещения S_e в полосе частот $(2)10 \dots 200$ Гц;
- Скорость изменения вибропараметров, отнесенных к временной базе продолжительностью в 1 час: V_a (м/с²/час), V_v (мм/с/час), V_s (мкм/час).

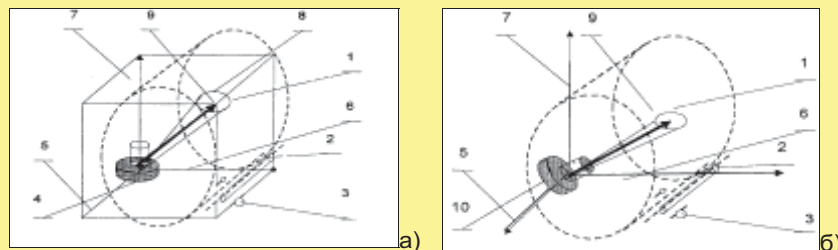


Рисунок А.1 - Способ установки вибропреобразователя с заменой трехкоординатного ВИП однокоординатным датчиком Vibro-scalar®:
 а) определение телесного угла трехкоординатным ВИП;
 б) установка однокоординатного датчика

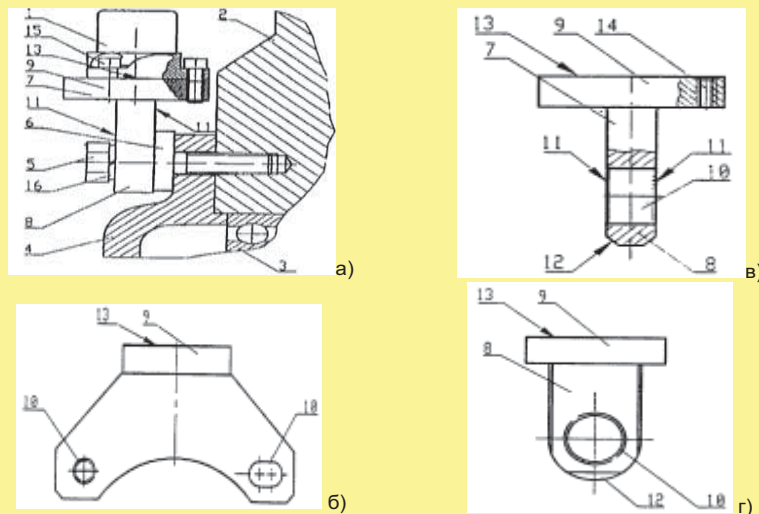


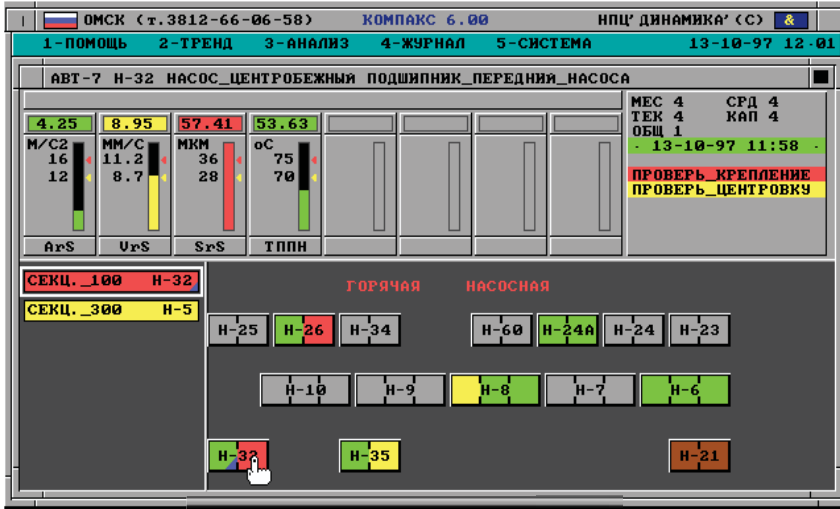
Рисунок А.2 - Общий вид и конструкция датчика Vibro-scalar®:
 а) датчик с вибропреобразователем 1, датчикодержателем 7, штатным болтом 5 крепления корпуса 4 подшипника 3 к машине 2; б) Т-образный кронштейн с несколькими выступами и опорными отверстиями; в) Т-образный кронштейн с одним выступом и опорным отверстием; г) его вид сбоку

НОВЫЙ КЛАСС СИСТЕМ

В 2003 г. на установке 21-10-3М ОАО «Омский НПЗ» Комиссия Ростехнадзора приняла в постоянную эксплуатацию первую в мире систему непрерывного комплексного мониторинга состояния КОМПАКС® насосно-компрессорного оборудования и коксовых реакторов с оценкой НДС акустико-эмиссионным методом на рабочем режиме функционирования,

а также Автоматизированную систему управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования в реальном времени – АСУБЭР КОМПАКС®, объединяющей стационарные и переносные средства диагностики и мониторинга отдельных технологических установок и цехов в единой диагностической сети предприятия с представлением состояния оборудования 58 пользователям диагностической сети, управляющих эксплуатацией

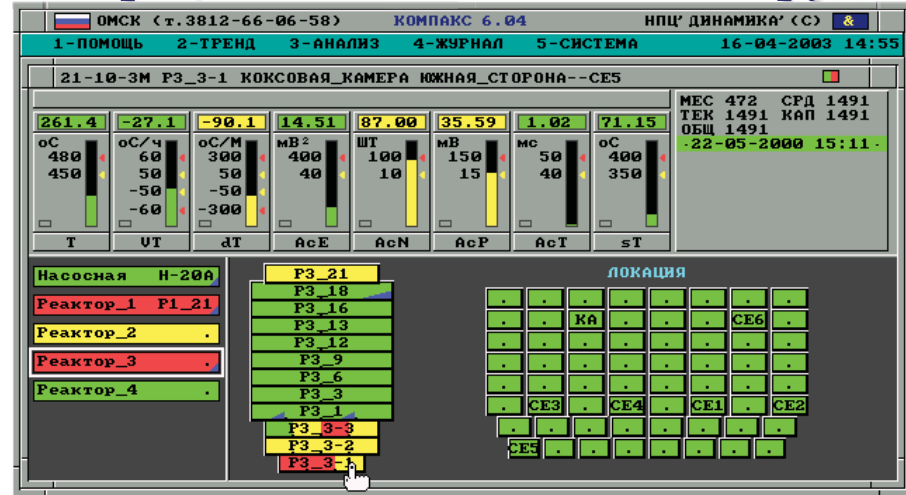
Состояние всех агрегатов технологической установки (завода) понятно с исчерпывающей полнотой при **одном взгляде на дисплей системы**
Машинное оборудование
Диагностическая станция



Трубопроводы



Реакторы, колонно-емкостное оборудов.



25 лет ресурсосберегающей безопасности

Структурная схема мониторинга «здоровья» оборудования ОАО «Газпромнефть-Омский НПЗ» на основе АСУ БЭР™ КОМПАКС®

Внутризаводская оптоволоконная сеть (диагностическая сеть Comprac-Net®)

Станции пользователей диагностической сети Comprac-Net® - 58 - управляющие эксплуатацией оборудования установок и производстве

производство первичной переработки

АВТ-6, АВТ-7, АВТ-8, АТ-9, АВТ-10, ВТ-10, 21-10-3М, ФСБ

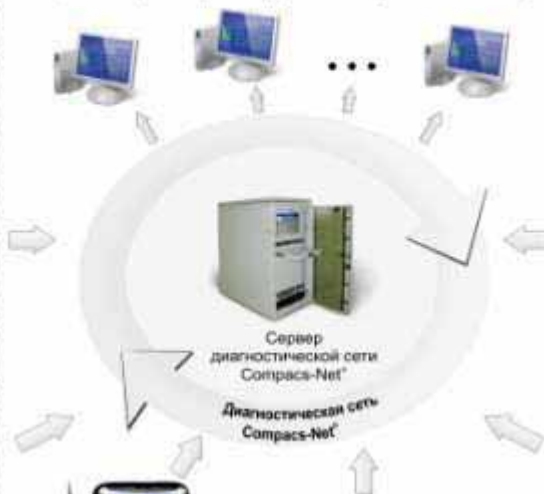
насосных агрегатов - 236
 компресс. агрегатов - 4
 аппаратов возд. охл. - 2
 дымососов - 2
 теплообменников - 7
 коксовых камер - 4
 вибрация - 587
 температура - 587
 ток - 212
 давление - 63
 деф-ция кокс. камер - 12
 уровень торц. уплотн. - 46



производство вторичной переработки

КТ1-1, КТ1-2, КТ1-3, КТ1-4, КТ-Парк, 43-103, 25/12 Алкиляция, 212/2л РОСК

насосных агрегатов - 303
 компресс. агрегатов - 16
 аппаратов возд. охл. - 20
 дымососов - 2
 нагнетателей - 2
 вибрация - 684
 температура - 395
 ток - 288
 давление - 77
 осевое и рад. смещение - 38
 уровень торц. уплотн. - 76



комплекс "Ароматика"

35-11-1000, Л24-9, КПА-18, КПА-19, Изомалк-2, ГО БКК, ГО ДТ

насосных агрегатов - 231
 компресс. агрегатов - 12
 аппаратов возд. охл. - 171
 вибрация - 1167
 температура - 232
 ток - 288
 оборотов - 14
 давление - 52
 уровень торц. уплотн. - 46



товарное производство

Титул 1165Р
 насосных агрегатов - 8
 вибрация - 30
 ток - 8

завод смазочных материалов

36-1, 37/1-5, 39/6-4

насосных агрегатов - 54
 компресс. агрегатов - 9
 вакуумных фильтров - 7
 аппаратов возд. охл. - 13
 вибрация - 177
 температура - 160
 ток - 90
 давление - 4
 уровень торц. уплотн. - 4



ремонтно-механический завод

КОМПАКС®-РПЭ



Система диагностики электродвигателей

КОМПАКС®-РЭБ



Система балансировки роторов электродвигателей

КОМПАКС®-РПП (2 системы)



Система вибродиагностики подшипников качения

КОМПАКС®-РПМ (3 системы)



Система диагностики и балансировки роторов консольных насосов

КОМПАКС®-УЗД



Система ультразвукового контроля вязкости подшипников скольжения

Внутризаводская оптоволоконная сеть (диагностическая сеть Comprac-Net®)

Ситуационный Центр АСУБЭР™ безопасной ресурсосберегающей эксплуатации оборудования на основе диагностической сети Comprac® - Net



Comprac® - Net функционирует в среде Интернет и Интранет и доступна всем пользователям сети предприятия. Производственные комплексы предприятия показаны на экране, разбитом на секторы, и достаточно одного взгляда, чтобы определить состояние оборудования на всем предприятии. Критическое состояние оборудование напрямую отображается на экране диагностической сети, а при щелчке мыши по сектору открывается основной экран в режиме МОНИТОР, что позволяет контролировать состояние оборудования, а также оценивать качество действий персонала.

СКРЫТЫЕ ПРОЦЕССЫ ДЕГРАДАЦИИ СОСТОЯНИЯ

Отказ насосного агрегата из-за нарушения режима работы (слева):

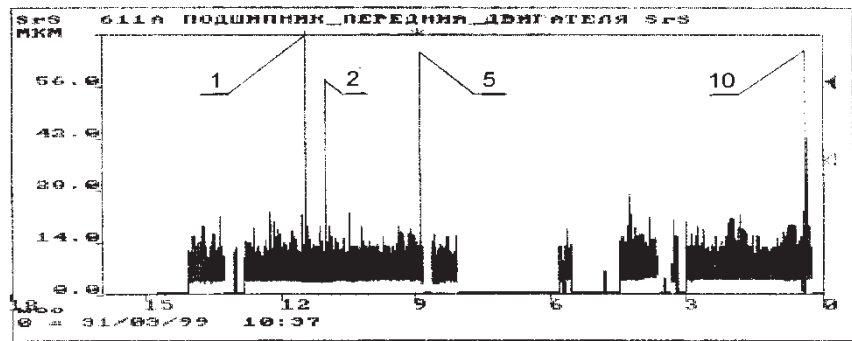
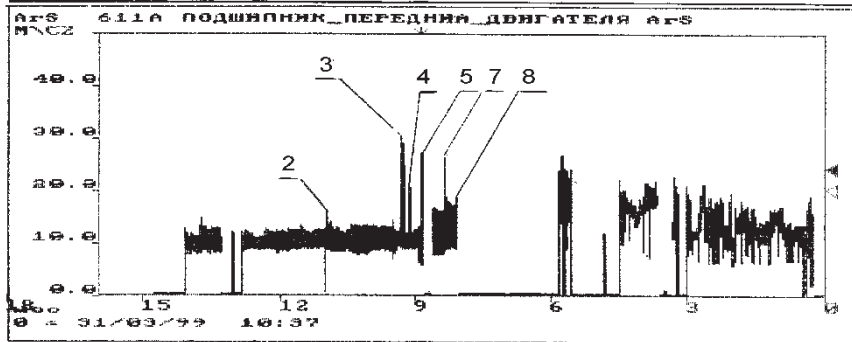
гидроудары 1, 2 привели к возникновению дефекта подшипника

гидроудар 5 привел к полному разрушению подшипника

Быстрое разрушение подшипника (справа):

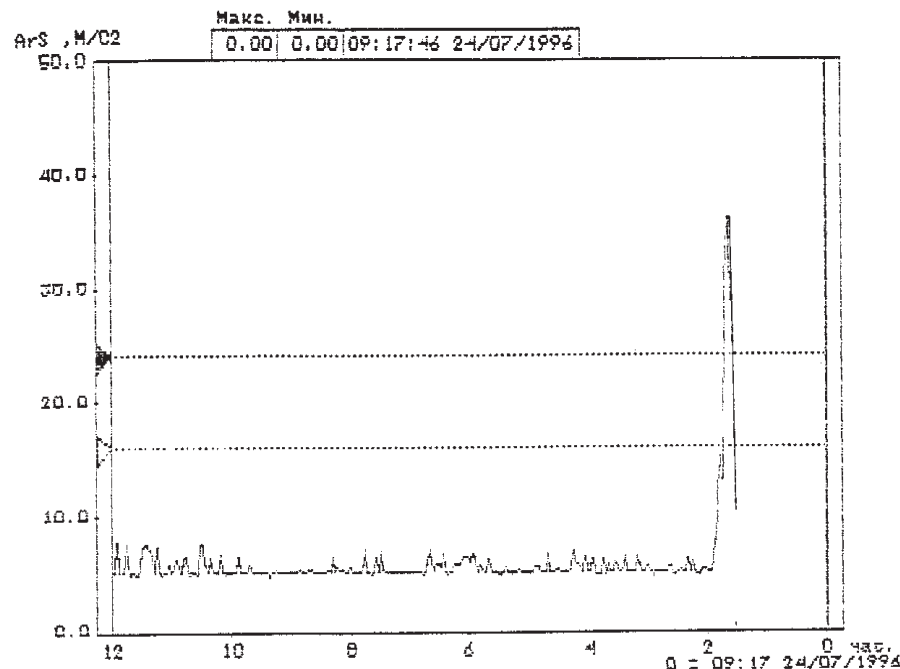
Благодаря речевому предупреждению агрегат был остановлен

КОМПАС 6.00 ВУРНАЯ МЕХАНИКА-ЭЛЕКТРИКА НПЦ "ДИНАМИКА" (С)
 Трек состояния агрегатов установки КПА-19 на 31-03-1999 11 ч. 00 мин.
 Дата пуска системы 31-03-1999 10 ч. 36 мин. ОАО "Омский НПЗ"



КОМПАС - NET Трек состояния агрегатов установки ГК-3-1 на 24-07-1996 09 ч. 19 мин.
 ОГМ

Н-2/1 НАСОС_ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ ПОДШИПНИК_ПЕРЕДНИЙ_НАСОСА



Автоматическое формирование протоколов состояния оборудования

КОМПАКС 6.04 (С) НПЦ "ДИНАМИКА" ЖУРНАЛ МЕХАНИКА-ЭЛЕКТРИКА ОАО "Омский НПЗ"

Протокол агрегатов, находящихся в состоянии "недопустимо" и требующих срочного ремонта, на установке "КПА-19" на 08-09-2003 13 ч. 25 мин.

Дата пуска системы 08-09-2003 13 ч. 24 мин.

Индекс, узел агрегата	Сост.	Недопустимые параметры	Месячн нараб за сент.	Наработка				Дата пуска/останова	Примечание
				Общая	После КР	После СР	После ТР		
1 GP752B КОШИПНИК ПЕРЕДНИЙ ДВИГАТЕЛЯ КОШИПНИК ПЕРЕДНИЙ НАСОСА	НДП УДОВЛ. НДП	V, S V, S	158	2792	2792	2792	2792	ПУСК 05/02/2106 14:28	ПРОВЕРЬ ЦЕНТРОВКУ ПРОВЕРЬ КРЕПЛЕНИЕ
			158	2792	2792	2792	2792		
2 GP822B КОШИПНИК ПЕРЕДНИЙ ДВИГАТЕЛЯ КОШИПНИК ПЕРЕДНИЙ НАСОСА КОШИПНИК ЗАДНИЙ НАСОСА	НДП УДОВЛ. НДП УДОВЛ.	A A	158	2792	2792	2792	2792	ПУСК 05/02/2106 14:28	ПРОВ_ПОДШ._СМАЗКУ
			158	2792	2792	2792	2792		
			158	2792	2792	2792	2792		
3 GP962B КОШИПНИК НИЖНИЙ ДВИГАТЕЛЯ КОШИПНИК ПЕРЕДАЧИ ТИХОХОДНОГО КОШИПНИК ПЕРЕДАЧИ ВЫСРОХОДНОГО	НДП УДОВЛ. НДП УДОВЛ.	A A	158	2792	2792	2792	2792	ПУСК 05/02/2106 14:28	ПРОВ_ПОДШ._СМАЗКУ
			158	2792	2792	2792	2792		
			158	2792	2792	2792	2792		
4 P1014A КОШИПНИК НИЖНИЙ ДВИГАТЕЛЯ КОШИПНИК ПЕРЕДАЧИ ТИХОХОДНОГО КОШИПНИК ПЕРЕДАЧИ ВЫСРОХОДНОГО	НДП А НДП УДОВЛ.	A A A	158	2792	2792	2792	2792	ПУСК 05/02/2106 14:28	ПРОВ_ПОДШ._СМАЗКУ ПРОВ_ПОДШ._СМАЗКУ
			158	2792	2792	2792	2792		
			158	2792	2792	2792	2792		
5 H24 КОШИПНИК ПЕРЕДНИЙ ДВИГАТЕЛЯ КОШИПНИК ПЕРЕДНИЙ НАСОСА КОШИПНИК ЗАДНИЙ НАСОСА	НДП УДОВЛ. НДП УДОВЛ.	A A	158	2792	2792	2792	2792	ПУСК 05/02/2106 14:28	ПРОВ_ПОДШ._СМАЗКУ
			158	2804	2804	2804	2804		
			158	2792	2792	2792	2792		
6 H16 КОШИПНИК ПЕРЕДНИЙ ДВИГАТЕЛЯ КОШИПНИК ПЕРЕДНИЙ НАСОСА	НДП УДОВЛ. НДП	A A	158	2792	2792	2792	2792	ПУСК 05/02/2106 14:28	ПРОВ_ПОДШ._СМАЗКУ
			158	2792	2792	2792	2792		
7 H16A КОШИПНИК ПЕРЕДНИЙ ДВИГАТЕЛЯ КОШИПНИК ПЕРЕДНИЙ НАСОСА	НДП ТТМ НДП ТТМ УДОВЛ.	V, S A V, S A	158	2792	2792	2792	2792	ПУСК 05/02/2106 14:28	ПРОВЕРЬ ЦЕНТРОВКУ ПРОВЕРЬ КРЕПЛЕНИЕ ПРОВ_СМАЗКУ, ПОДШ
			158	2792	2792	2792	2792		
			158	2792	2792	2792	2792		
8 H17 КОШИПНИК ПЕРЕДНИЙ ДВИГАТЕЛЯ КОШИПНИК ПЕРЕДНИЙ НАСОСА	НДП ТТМ НДП ТТМ УДОВЛ.	S V S V	158	2792	2792	2792	2792	ПУСК 05/02/2106 14:28	ПРОВЕРЬ КРЕПЛЕНИЕ ПРОВЕРЬ ЦЕНТРОВКУ
			158	2792	2792	2792	2792		
			158	2792	2792	2792	2792		
9 H18 КОШИПНИК ПЕРЕДНИЙ ДВИГАТЕЛЯ	НДП ТТМ НДП	V, S A V, S	158	2792	2792	2792	2792	ПУСК 05/02/2106 14:28	ПРОВЕРЬ ЦЕНТРОВКУ
			158	2792	2792	2792	2792		
			158	2792	2792	2792	2792		

Наименование контролируемых агрегатов и их узлов

Состояние контролируемых агрегатов и их узлов

Наработки контролируемых агрегатов

Причины ремонта агрегатов, дефекты их узлов

25 лет ресурсосберегающей безопасности

СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА И РЕМОНТА

Система вибродиагностики подшипников качения КОМПАКС®-РПП

Система ультразвукового контроля вкладышей подшипников скольжения КОМПАКС®-УЗД

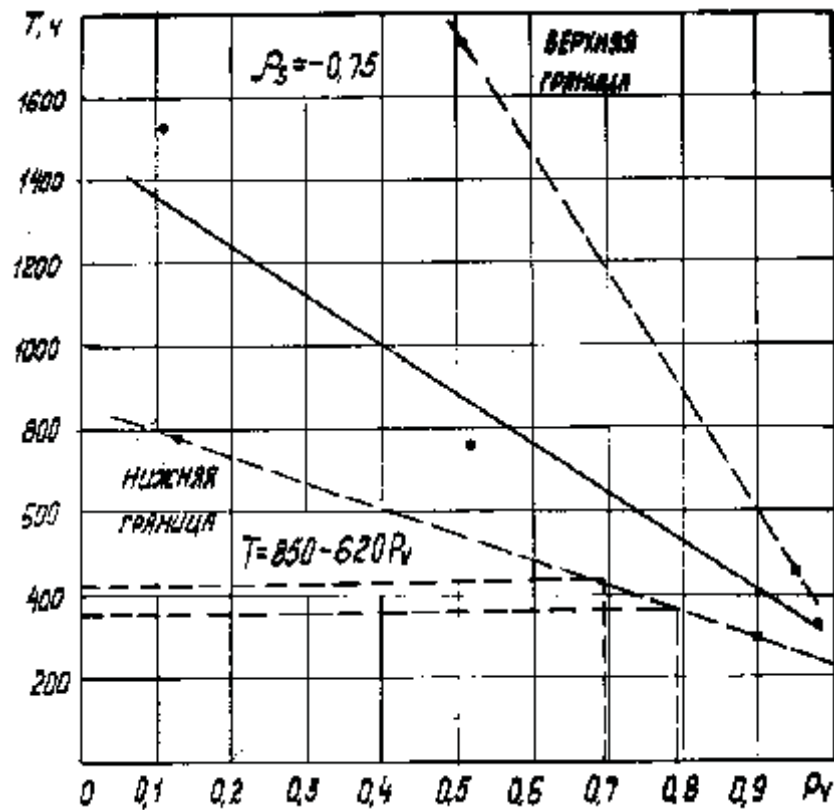
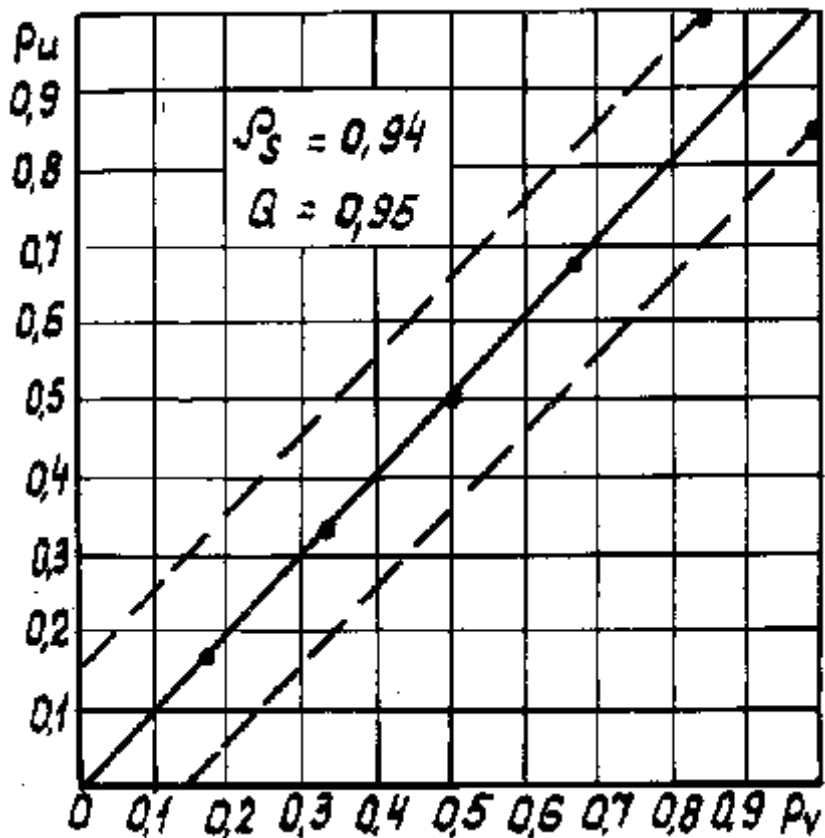
Система диагностики и динамической балансировки роторов консольных насосов в собственных подшипниках КОМПАКС®-РПМ

Система диагностики электродвигателей КОМПАКС®-РПЭ

Система вибродиагностики и гидроиспытаний насосных агрегатов КОМПАКС®-РПГ

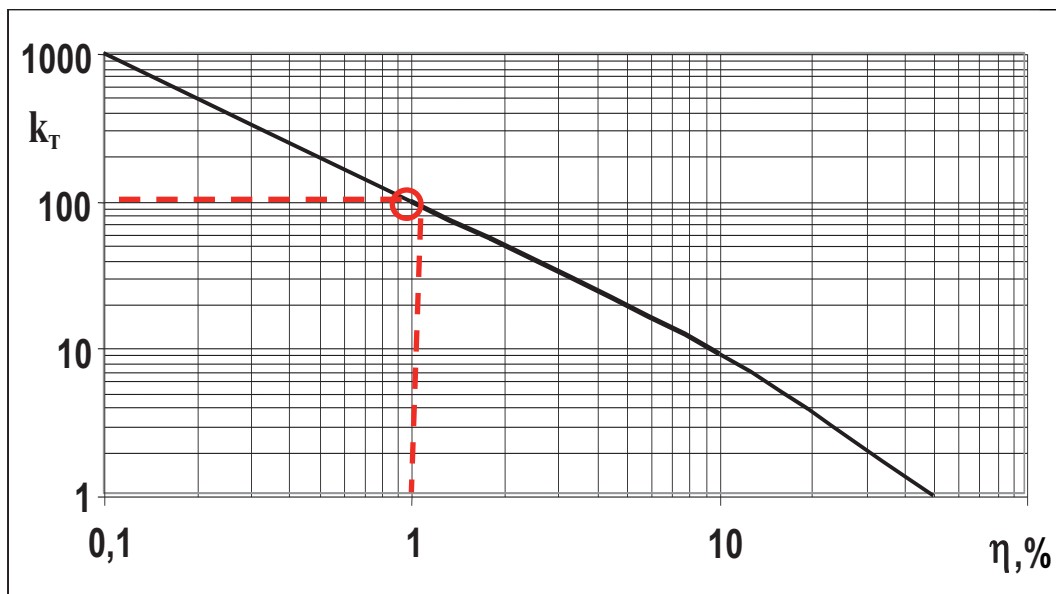


Связь вибрации с погрешностями и прогноз ресурса на приемосдаточных испытаниях



Именно резкое сокращение – более чем на порядок – ошибки диагностики **с 30-40% до 1% и менее** приводит к резкому росту эффективности, в частности к увеличению межаварийного пробега в десятки и сотни раз, а, следовательно – к радикальному сокращению эксплуатационных затрат и потерь прибыли.

k_T – КОЭФФИЦИЕНТ УВЕЛИЧЕНИЯ МЕЖАВАРИЙНОГО ПРОБЕГА



*рост межремонтного пробега
в 6 и более раз

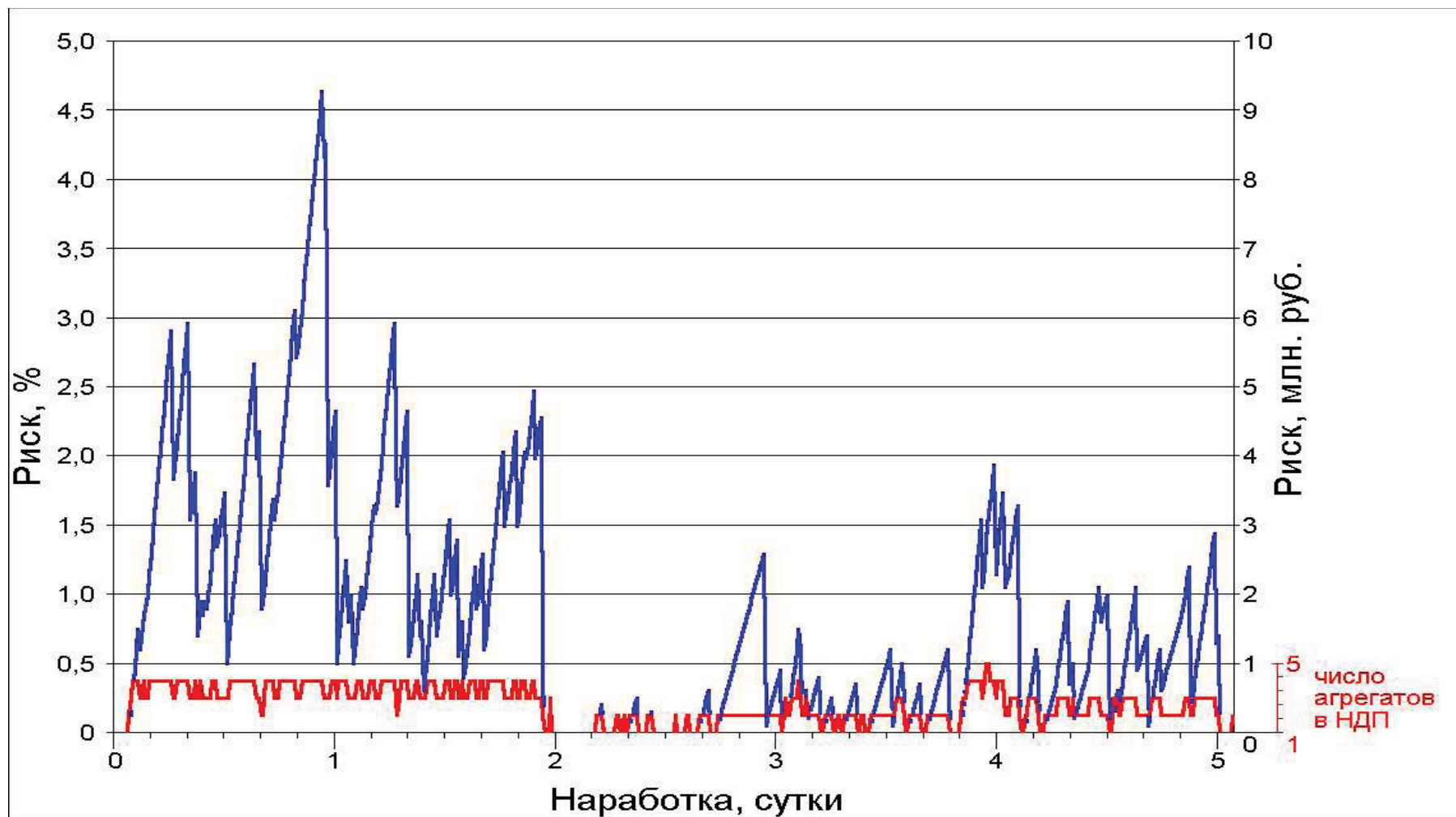
*сокращение ремонтных затрат
в 8 и более раз

*предупреждение аварий и простоев - увеличение межаварийного пробега и сокращение простоев
в десятки раз

*сокращение сроков ремонта и пуска новых производств на
30% и более

ОШИБКА МОНИТОРИНГА

Мониторинг риска в реальном времени



Мониторинг риска пропуска отказа агрегатов ОПО в реальном времени

- 1) Тренд риска эксплуатации ОПО в реальном времени – синяя кривая
- 2) Левая шкала – вероятность отказа; Правая шкала – Риск ущерба (млн. руб.)

>500 систем мониторинга состояния оборудования КОМПАКС® и созданные на их основе АСУ БЭРТМ внедрены сегодня в 12 отраслях промышленности:

- Нефтепереработка
- Нефтехимия
- Нефтедобыча
- Нефтеналивные и продуктовые терминалы
- Газопереработка
- Горнорудная отрасль
- Metallургия
- Коммунальное хозяйство
- Железнодорожный транспорт
- Машиностроение
- Энергетика
- **и везде подтвердили высокую Безопасность ОПО**
- **и эффективность новой ресурсосберегающей технологии**

