

# Мониторинг «здоровья» оборудования в реальном времени – прорывная инновационная технология для России

В. Н. Костюков д.т.н., профессор, академик РИА, А. В. Костюков к.э.н.  
*ООО НПЦ «Динамика», Омск, Россия*

В дни, когда наш любимый город Омск отмечает 300-летний юбилей со дня основания, а наш Научно-производственный центр «Диагностика, надежность машин и комплексная автоматизация» - НПЦ «Динамика» отмечает свое 25-летие, нельзя не вспомнить некоторые важнейшие даты в создании и развитии теории и практики вибродиагностического мониторинга оборудования, составляющие историческую основу становления российской школы мониторинга, колыбелью которой стали наш город и наша фирма.

Почти 45 лет назад, в 1972 г в НИИ авиационных технологий под руководством д.т.н., заслуженного деятеля науки и техники, профессора Тамары Васильевны Алексеевой и начальника лаборатории, к.т.н. Сергея Алексеевича Морозова – наших учителей, светлая им память, началась абсолютно пионерная работа, связанная с освоением методов вибраакустической диагностики машин и механизмов. Вибродиагностика, как новая отрасль знаний – новая технология, берет свое начало в середине прошлого века, когда в России вышли первые труды Б.В. Павлова, М.Д. Генкина и др. (1957, 1959 гг.) и выпущены первые приборы вибродиагностики двигателей, трансмиссий, подшипников качения и зубчатых передач по огибающей ультразвуковой вибрации (1964 г.). Уже в конце 1972 г. нами были созданы приборы вибродиагностики поршневых компрессоров ДХ2-1010 ПАРК-1, которые по ВЧ - огибающей вибраакустического сигнала автоматически указывали 10 разнообразных дефектов. Успешная научная работа была высоко оценена на практике - приборы ПАРК-1 были внедрены в производство и оценивали качество компрессоров при выпуске до 1 млн. штук в год, что обеспечило серьезное снижение брака и практически полную ликвидацию случаев возврата компрессоров смежниками.

Полученные результаты позволили продолжить исследования в области вибраакустической диагностики. В течении нескольких лет в период в середине 70-х до начала 80-х годов прошлого столетия были созданы системы автоматической вибродиагностики СИГМА-1, выявлены, обоснованы теоретически и подтверждены на практике устойчивые зависимости (Рис. 1 а, б), доказывающие существенное влияние погрешностей изготовления и эксплуатации машин на их ресурс и возможность прогнозирования остаточного ресурса по результатам вибродиагностики.

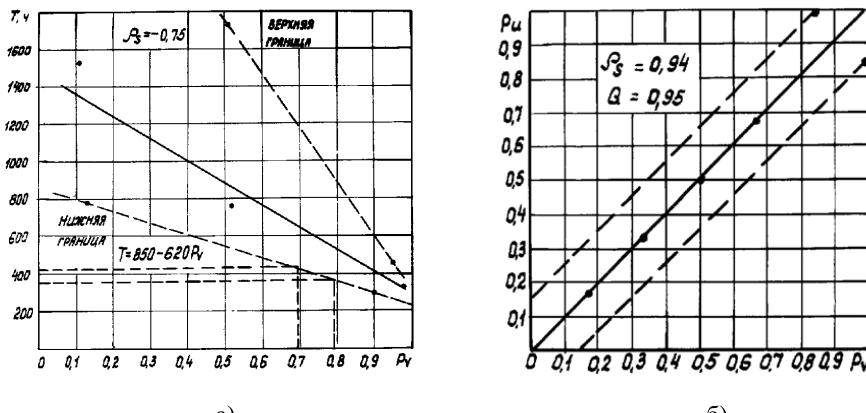


Рис. 1. Графики регрессии - а) регрессия ресурса на комплексный виброакустический показатель качества насоса; б) регрессия обобщенной погрешности насоса на комплексный виброакустический показатель его качества

В 1981 г. появилась первая автоматическая экспертная система на основе псевдокогерентной селекции шумовых и периодических составляющих (ШПС) огибающей виброакустического сигнала. В 80-х годах XX-го века разработаны и широко внедрены приборы серии РАПИД для оценки состояния топливных насосов авиационных двигателей на всех этапах их жизненного цикла – при разработке на испытаниях, для автоматической диагностики агрегатов в серийном производстве и в эксплуатации (мониторинг состояния агрегатов самолетов ЯК-40 и Л-29).

Проблемы эксплуатации насосно-компрессорного оборудования явились причиной создания и внедрения первой стационарной системы СВК-1 для мониторинга технического состояния пропановых насосных агрегатов установки деасфальтизации Омского НПЗ. Система СВК-1 уже тогда осуществляла автоматическую диагностику основных классов неисправностей – подшипников, кавитации, центровки, балансировки и качества крепления, своевременно обнаруживая развивавшиеся в насосах и электродвигателях дефекты. В 1991 году на Омском НПЗ внедрена первая стационарная система компьютерного мониторинга 26 насосных агрегатов СВИП-64 со встроенным анализатором вибрации на базе IBM-компьютера АТ-286, а в 1993 году на 118 агрегатах 6 производств того же предприятия внедрена первая система компьютерного мониторинга состояния насосно-компрессорного оборудования со встроенной автоматической экспертной системой оценки технического состояния агрегатов КОМПАК®.

Полный охват мониторингом состояния в реальном времени всего машинного оборудования технологических установок НПЗ показал колossalную эффективность новых систем и технологий. В феврале 1994 г. появилась первая диагностическая сеть предприятия, которая была представлена межведомственной комиссией Миннефтехимпрома и Госгортехнадзора РФ. Инновационные разработки получили высокую оценку и рекомендации их к широкому внедрению в народном хозяйстве страны. Руководителями этих ведомств был утвержден первый в мире руководящий документ, устанавливающий нормы вибрации для центробежных агрегатов опасных производств и позволивший перейти к эксплуатации оборудования по фактическому

техническому состоянию на основе мониторинга его «здоровья» в реальном времени [1]. К концу 90-х большинство крупных предприятий нефтепереработки и нефтехимии оснастили наиболее ответственные технологические комплексы системами КОМПАКС®. В 1998 году коллектив разработчиков автоматизированных систем безопасной ресурсосберегающей эксплуатации оборудования опасных производств АСУ БЭРТМ КОМПАКС® был удостоен премии Правительства РФ в области науки и техники за широкомасштабное внедрение систем и технологии.

В 2003 году аналогичная межведомственная комиссия приняла в промышленную эксплуатацию системы комплексного мониторинга состояния динамического и статического оборудования в реальном времени и мониторинга оборудования в реальном времени для эксплуатации по техническому состоянию. Это решение позволило разработать и издать в начале двухтысячных годов году межведомственные и отраслевые [2-7], а в 2009-2015 годах национальные стандарты по безопасной ресурсосберегающей эксплуатации оборудования под контролем систем мониторинга в реальном времени [8-11].

Завершая исторический экскурс, важно отметить, что в наши дни такие понятия как Большие Данные, Промышленный Интернет Вещей уже завладели массовым сознанием и многие компании объявляют о создании аналогичных систем, однако, лишь автоматизировав и удешевив процесс измерения каких-либо параметров невозможно построить систему мониторинга состояния оборудования, для этого требуется наличие встроенной автоматической экспертной системы поддержки принятия решений по ближайшим неотложным действиям с оборудованием, конкретные свидетельства успешного внедрения которой до настоящего времени есть только у НПЦ «Динамика» и систем КОМПАКС®.

Итак, что же такое и для чего вообще нужен мониторинг «здоровья»? На первый взгляд кажется, что ответ очевиден, однако, создание технически сложного инновационного продукта, которым является АСУ БЭРТМ КОМПАКС® и созданная на их основе технология, требуют подробнейшего описания цели мониторинга, подлежащих решению задач, основных факторов, влияющих на результаты мониторинга. Верная постановка задачи позволила определить решающую зависимость (Рис. 2), а именно, достижение устойчивости обеспечивает стабильность и гарантирует безопасность только при наличии наблюдаемости и управляемости производственной системы, когда все операции мониторинга связаны воедино и период мониторинга ( $T_0$ ) не превышает наиболее короткий интервал развития неисправностей в оборудовании ( $T_{critical}$ ) [12].

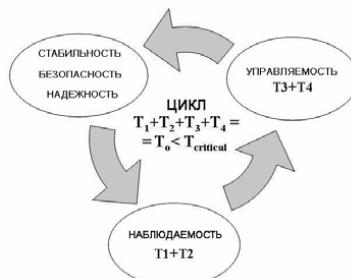


Рис. 2. Зависимость между устойчивостью, стабильностью, наблюдаемостью и управляемостью производственной системы

Система КОМПАКС® имеет распределенную структуру полевой сети, обеспечивающую на единой программно-аппаратной платформе мониторинг технического состояния разнообразного оборудования технологического объекта, используя весьма широкий набор методов неразрушающего контроля (Рис. 3). Для мониторинга технического состояния машинного оборудования в первую очередь используется вибродиагностика, однако это не единственный метод НК, и, для своевременного выявления всех критических неисправностей машин в систему интегрированы вихревоковый, электрический, тепловой и ряд других методов НК. Для определения «здоровья» статического оборудования в систему интегрирован акустоэмиссионный метод НК, осуществляется контроль напряженно-деформированного состояния, градиентов температур и других параметров, характеризующих техническое состояние колонно-емкостного оборудования.

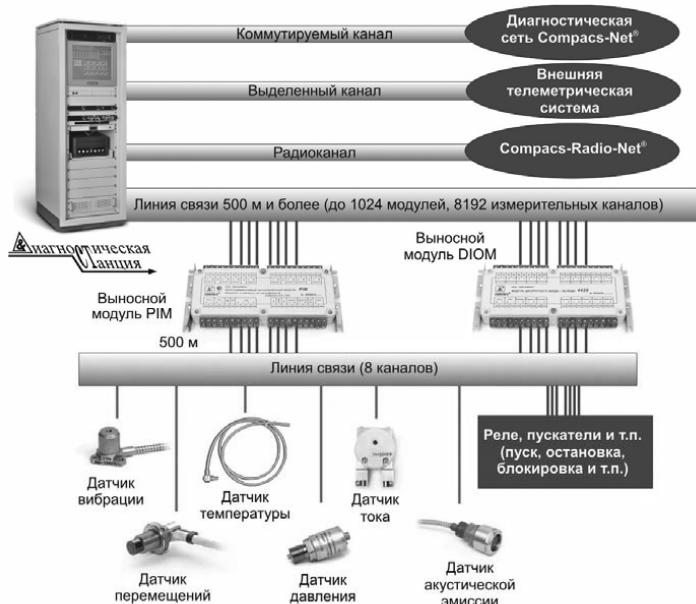


Рис. 3 – Структура распределенной системы мониторинга  
реального времени

Интеграция в систему различных методов НК при одновременной широте охвата оборудования технологического комплекса и большой глубине диагностики неисправностей, позволили персоналу предприятий – заказчиков видеть в реальном времени возникающие в оборудовании деструктивные нагрузки и, проводя своевременное и целенаправленное техническое обслуживание, корректировку режимов работы оборудования, добиться принципиально новых возможностей по обеспечению межаварийных и межремонтных пробегов оборудования (Рис. 4). Именно резкое сокращение, более чем на порядок, ошибки диагностики с 30-40% до 1% и менее приводит к резкому росту эффективности мониторинга, в частности к увеличению межаварийного пробега в десятки и сотни раз, а, следовательно, к радикальному сокращению эксплуатационных затрат и потерь прибыли.

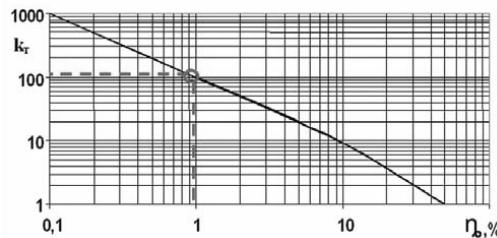


Рис. 4. Зависимость между ошибкой мониторинга и коэффициентом увеличения межаварийного пробега

В качестве примеров эффективной работы систем КОМПАКС<sup>®</sup> на опасных производственных объектах приведем несколько случаев автоматической диагностики неисправностей машин и действий персонала по предписаниям систем. На рисунке 5 приведены тренды вибропараметров, характеризующих экспоненциальный процесс разрушения машин. На тренде рис. 5а представлен быстрый рост уровня вибрации из-за ослабления крепления кожуха насоса, персонал получил речевое предписание системы, текстовое сообщение на экране диагностической станции и, не допустив внезапного отказа, вывел агрегат из эксплуатации. На тренде рис. 5б представлен быстрый рост уровня температуры подшипника скольжения двигателя, ниже - быстрый рост уровня энергии акустико-эмиссионных импульсов разрушения реактора, в левой нижней части рисунка приведен ранний прогноз разрушения подшипника по тренду виброускорения  $A(t)$  и темпу его роста  $V_a(t)$ , что позволило увеличить максимальный интервал предсказания практически в 2 раза. Все перечисленные примеры наглядно демонстрируют необходимость диагностики оборудования в реальном времени при различных скоростях его износа.

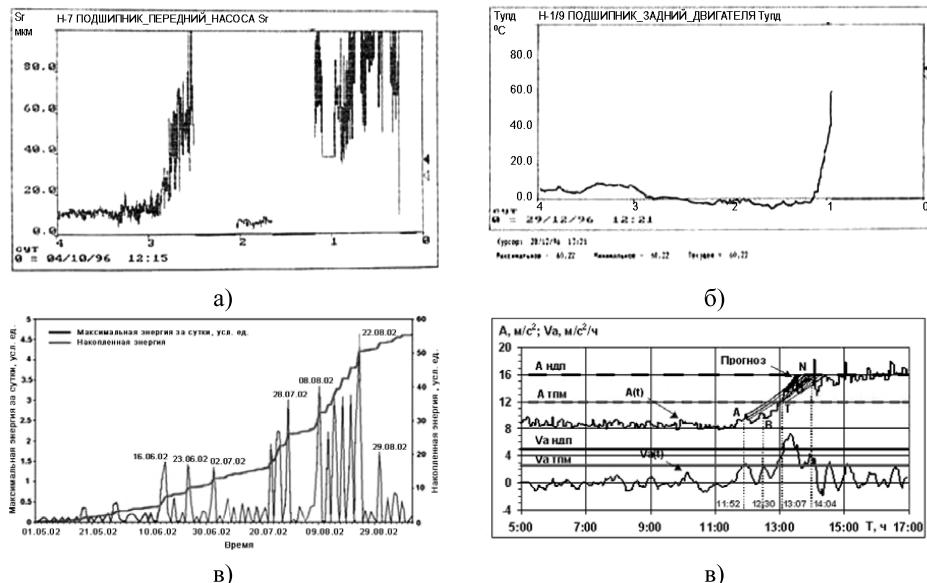


Рис. 5. Тренды вибропараметров

На ряде следующих трендов, хранящихся в базах системы КОМПАКС® от нескольких секунд до 9 лет и более, представлены примеры мультимодальных процессов многостадийного износа и разрушения машин и механизмов (Рис. 6).

Фактором, ограничивающим применение периодических измерений виброактивности подшипников с помощью переносных приборов, реализующих любой из известных методов, является многостадийность процессов износа - разрушения, т.е. эти процессы проходят в несколько стадий. Количество стадий разрушения зависит от тяжести развивающегося дефекта и условий эксплуатации агрегата. По интенсивности стадий износа можно выделить три основных периода: 1 - зарождение дефекта; 2, 3 - развитие дефекта; 5, 6 - катастрофические (необратимые) разрушения.

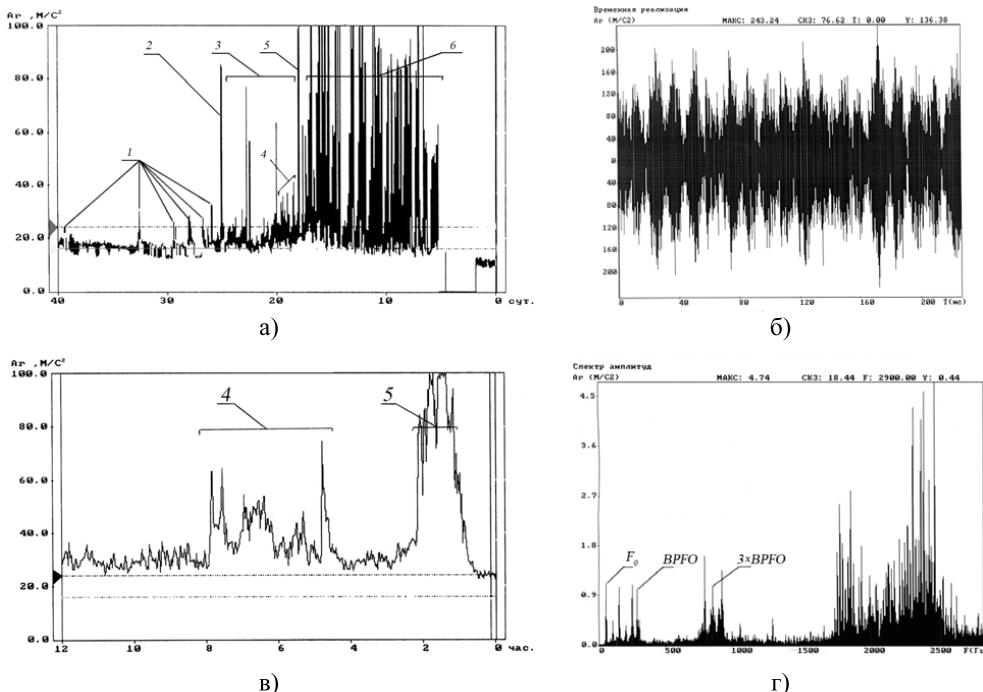


Рис. 6. Многостадийность усталостного разрушения подшипника

Тренд виброускорения (рис. 6а) показывает, что двигатель запущен в эксплуатацию с дефектным подшипником, установленным в передний подшипниковый щит, о чем свидетельствует повышенный уровень виброускорения в состоянии «Требует принятия мер» (ТПМ). В течение первых двух недель эксплуатации двигателя происходят незначительные процессы роста дефекта переднего подшипника, которые проявляются в редких, непродолжительных выбросах виброускорения в зону «Недопустимо» (НДП) (Рис. 6а, точка 1). При этом скорость изменения виброускорения изменяется в пределах от 1,7 до 7  $\text{м}/\text{с}^2/\text{ч}$ . После этого наблюдается первый значительный акт разрушения подшипника (Рис. 6а, точка 2), при этом уровень виброускорения превышает порог НДП, равный 24  $\text{м}/\text{с}^2$ , более чем в 4 раза ( $85 \text{ м}/\text{с}^2$ ), скорость изменения виброускорения составляет 31 ( $\text{м}/\text{с}^2$ )/ч. Затем на протяжении недели процесс разрушения идет более интенсивно, акты разрушения сильные, но еще редкие (Рис. 6а, участок 3). Возрастает

дисперсия сигнала виброускорения. На 12-часовом тренде (Рис. 6б) укрупненно раскрыт участок 4 40-суточного тренда (Рис. 6а). На нем хорошо видно, как непродолжительные по времени (10–20 мин) акты разрушения переходят в значительные по времени и мощные по силе разрушения – 100 м/с<sup>2</sup> (точка 5). При этом скорость роста виброускорения, сопровождающего разрушение на участке 4, достигает 600 м/с<sup>2</sup>/ч и на участке 5 – 1000 (м/с<sup>2</sup>)/ч. После этого (участок 5) начинается лавинообразный процесс разрушения подшипника. Единовременные акты разрушения становятся частыми, мощными и практически следуют один за другим (Рис. 6а, б). На временной реализации сигнала виброускорения хорошо наблюдаются ударные процессы разрушения – максимумы доходят до 243 м/с<sup>2</sup> (Рис. 6в). Анализ прямого спектра виброускорения (Рис. 6г) показывает на наличие дефекта внешней обоймы подшипника ( $f_{BPFO}$ ) – 286 Гц и третьей гармоники этой частоты ( $3f_{BPFO}$ ) – 858 Гц. Значительные амплитуды этих частотных составляющих говорят о сильно развитом дефекте внешней обоймы (Рис. 6г). Наличие боковых составляющих у третьей гармоники дефекта внешней обоймы подшипника ( $3f_{BPFO}$ ), уровень которых превышает уровень первой обратной составляющей ( $f_0$ ), также подтверждает серьезность дефекта внешней обоймы. Значительная амплитуда оборотной частоты и расстояние между боковыми частотами и третьей гармоникой ( $3f_{BPFO}$ ), соответствующее оборотной частоте, говорят о наличии дисбаланса ротора двигателя. Вся высокочастотная область спектра насыщена составляющими гармоник 20 Гц, что говорит о наличии сильного дефекта сепаратора ( $f_{FTF}$ ).

Таким образом, вследствие многостадийности разрушения подшипников, а также учитывая достаточно большую вероятность использования подшипников со скрытыми дефектами материалов, из которых изготовлены элементы подшипника, измерение различных частотных составляющих и других признаков является недостаточным. Важным является измерение СКЗ абсолютной вибрации (виброускорения). Поэтому контроль состояния динамического оборудования в условиях эксплуатации необходимо проводить на неразрывно примыкающих друг к другу интервалах времени, в течение которых его техническое состояние существенно не изменяется. В зависимости от допустимой степени риска пропуска отказа этот интервал может составлять считанные минуты, связи с чем, диагностику необходимо обеспечивать стационарными системами мониторинга, а применение периодического контроля переносными приборами является просто бессмысленной тратой средств.

На рисунке 7 представлена таблица классов неисправностей машинных агрегатов, которые автоматически обнаруживает, оценивает, идентифицирует и указывает персоналу системы мониторинга технического состояния оборудования КОМПАКС®.

Как правило, любой технологический комплекс характеризуется большим разнообразием эксплуатируемого динамического оборудования, поэтому еще одним серьезным преимуществом продвигаемой нами технологии безопасной ресурсосберегающей эксплуатации оборудования является создание стационарных систем мониторинга не отдельных агрегатов, а всего ответственного оборудования, мониторинг технического состояния которого осуществляется на единой программно-аппаратной платформе систем КОМПАКС®. Пример АСУ БЭР™ КОМПАКС® одного из промышленных предприятий приведен на рисунке 8.

Центробежные машины	Поршневые машины
<p><b>Подшипник:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• недостаток смазки;</li> <li>• перекос;</li> <li>• ослабление;</li> <li>• дефект внешней обоймы;</li> <li>• погрешность формы внешней обоймы (овальность, гранность, шероховатость);</li> <li>• дефект внутренней обоймы;</li> <li>• погрешность формы внутренней обоймы (овальность, гранность, шероховатость);</li> <li>• дефект тел качения;</li> <li>• дефект сепаратора;</li> <li>• срыв масляного клина в подшипнике скольжения.</li> </ul> <p><b>Механизм:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• дефект муфты;</li> <li>• дефект зубчатых передач.</li> </ul> <p><b>Машина:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• нарушение крепления;</li> <li>• дисбаланс ротора;</li> <li>• дефекты рабочего колеса;</li> <li>• срез вала;</li> <li>• недопустимое биение ротора;</li> <li>• недопустимый осевой сдвиг.</li> </ul> <p><b>Агрегат:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• нарушение центровки валов;</li> <li>• дисбаланс вращающихся масс;</li> <li>• нарушение работы системы смазки;</li> <li>• нарушение крепления к фундаменту и присоединенным конструкциям.</li> </ul> <p><b>Гидро-газодинамические:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• кавитация;</li> <li>• гидроудар;</li> <li>• прохват.</li> </ul> <p><b>Температурные:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• перегрев;</li> <li>• неравномерность нагрева;</li> <li>• недопустимые градиенты.</li> </ul> <p><b>Электрические:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• перегрузка по току;</li> <li>• перекос фаз;</li> <li>• дефекты статора;</li> <li>• нарушение взаимного расположения осей ротора и статора;</li> <li>• дефекты "беличьей клетки"</li> <li>• эксцентрикситет воздушного зазора;</li> <li>• эксцентрикситет ротора.</li> </ul>	<p><b>Клапан:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• поломка пружин, пластин;</li> <li>• недостаточная герметичность (пропуск);</li> <li>• заброс конденсата (гидроудар);</li> <li>• нарушение технологического режима.</li> </ul> <p><b>Коренной подшипник:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• износ баббитового слоя;</li> <li>• ослабление крепления;</li> <li>• недостаток смазки.</li> </ul> <p><b>Шток:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• износ сальников;</li> <li>• изгиб штока;</li> <li>• обрыв штока.</li> </ul> <p><b>Кривошипно–ползунный механизм:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• износ баббитового слоя;</li> <li>• ослабление крепления деталей;</li> <li>• недостаток смазки;</li> <li>• увеличение зазора в сопряжении палец–ползун.</li> </ul> <p><b>Цилиндкопоршневая группа:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• износ колец;</li> <li>• износ гильзы;</li> <li>• ослабление крепления деталей;</li> <li>• недостаток смазки;</li> <li>• заброс конденсата (гидроудар);</li> <li>• нарушение технологического режима.</li> </ul> <p><b>Агрегат:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ослабление крепления корпусных составляющих;</li> <li>• дисбаланс вращающихся масс;</li> <li>• нарушение работы системы смазки.</li> </ul>

Рис. 7. Таблица классов неисправностей машинных агрегатов

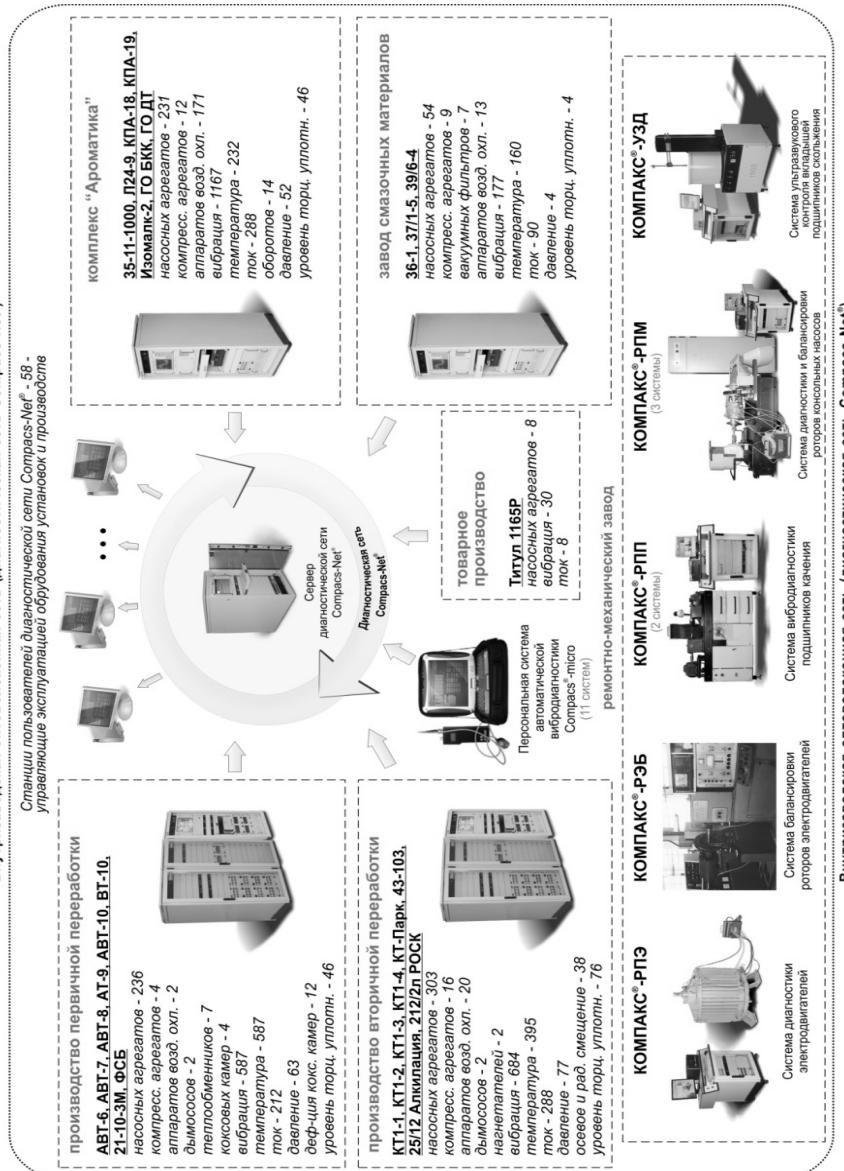


Рис. 8. Структурная схема мониторинга «здравория» оборудования ОАО «Газпромнефть-Омский НПЗ» на основе АСУ БЭР™ КОМПАКС®

Весьма важной задачей, подлежащей решению при оснащении технологического комплекса стационарной системой мониторинга, является определение состава оборудования, подлежащего постоянному контролю. Традиционные подходы уделяют внимание исключительно мощным и дорогостоящим машинам, в связи с чем, большинство ответственного оборудования остается неохваченным мониторингом. Инновационная технология безопасной ресурсосберегающей эксплуатации оборудования во главу угла ставит не мощность и стоимость машины, а ее место в технологической схеме производственного комплекса, что и обуславливает максимально возможный техногенный риск ее отказа, а соответственно и его пропуска. На рисунке 9 представлена матрица риска производственного комплекса, рекомендованная национальным стандартом РФ [8] для выбора объектов мониторинга на опасных производственных объектах (ОПО).

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

Рис. 9. Матрица риска производственного комплекса

Применение столь простой матрицы существенно облегчает процесс определения подлежащих оснащению агрегатов и обоснование данного выбора перед всеми заинтересованными сторонами. Так, I категория оборудования имеет наиболее высокий риск отказа, который связан с масштабом возможных последствий. В состав риска отказа данного вида оборудования прежде всего входят возможные потери жизни и здоровья людей, экологические последствия аварий, цена ликвидации аварийной ситуации на производстве и восстановления оборудования, цена простоя оборудования и технологического комплекса, стоимость ремонта. Отказ оборудования II категории как правило не несет в себе риск аварии, тем не менее, основной составляющей высокого уровня риска для данной категории машин является высокая цена простоя технологического комплекса и обусловленная этим значительная величина техногенного риска. По имеющейся статистике на оборудование I и II категорий опасности приходится 75-80% всего оборудования опасных производственных объектов, чем и обусловлена высокая экономическая эффективность внедрения систем КОМПАКС®. По данным наших заказчиков, неоднократно опубликованным в открытой печати, эффективность инвестиций в системы превышает 10 к 1, а окупаемость проектов составляет менее года [13].



Рис. 10. Карта масштабов внедрения

Совокупный экономический эффект от применения систем КОМПАКС® в народном хозяйстве России за прошедшие 25 лет превысил 100 миллиардов рублей. Столь значительный эффект получен при довольно малом масштабе внедрения – всего внедрено порядка 680 систем, контролирующих около 23 000 машин и агрегатов свыше 2400 типов, что даже по наиболее продвинутым отраслям народного хозяйства не превышает нескольких процентов оборудования I и II категорий опасности.

Оснащение же хотя бы половины всего оборудования I и II категорий опасности всех отраслей народного хозяйства может на деле осуществить прорыв России в новое состояние – состояние техногенной безопасности и стабильного экономического роста базовых отраслей промышленности и транспорта, когда практически исключена возможность техногенных катастроф из-за отказов оборудования и, как следствие, многократно повышена эффективность эксплуатации опасных производственных объектов и транспорта, что обеспечит триллионы рублей экономического эффекта и создаст более эффективные условия для развития экономики нашей страны.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Костюков В.Н., Бойченко С.Н., Тарапов Е.В. Руководящий документ «Центробежные электроприводные насосные и компрессорные агрегаты, оснащенные системами компьютерного мониторинга для предупреждения аварий и контроля технического состояния типа КОМПАКС®. Эксплуатационные нормы вибрации». Утвержден Госгортехнадзором РФ и Министерством Топлива и Энергетики РФ от 22.09.1994г. Омск: 1994г. - 7с.

[2] Стандарт ассоциации «РОСТЕХЭКСПЕРТИЗА» «Центробежные насосные и компрессорные агрегаты опасных производств. Эксплуатационные нормы вибрации» (СА 03-001-05). Серия 03/ Колл. авт. - М.: Издательство «Компрессорная и химическая техника», 2005. - 24с.

- [3] Стандарт ассоциации «РОСТЕХЭКСПЕРТИЗА» «Системы мониторинга агрегатов опасных производственных объектов. Общие технические требования» (СА 03-002-05). Серия 03/ Колл. авт. - М.: Издательство «Компрессорная и химическая техника», 2005. - 42 с.
- [4] СТО 03-003-08. «Мониторинг оборудования опасных производств: Термины и определения»: сб. стандартов НПС РИСКОМ//Мониторинг оборудования опасных производств. Стандарт организации. М.: 2008. С.5-24
- [5] СТО 03-002-08. «Мониторинг оборудования опасных производств: Порядок организации»: сб. стандартов НПС РИСКОМ//Мониторинг оборудования опасных производств. Стандарт организации. М.: 2008. С.25-64
- [6] СТО 03-004-08. «Мониторинг оборудования опасных производств: Процедуры применения»: сб. стандартов НПС РИСКОМ//Мониторинг оборудования опасных производств. Стандарт организации. М.: 2008. С.65-77.
- [7] СТО 03-007-11. Мониторинг оборудования опасных производств. Стационарные поршневые компрессорные установки опасных производств: эксплуатационные нормы вибрации. М.: Изд-во «КХТ», 2011. 18 с.
- [8] ГОСТ Р 53563-2009 Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Порядок организации. - М.: Стандартинформ, 2010 - 8 с.
- [9] ГОСТ Р 53564-2009 Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Требования к системе мониторинга. - М.: Стандартинформ, 2010 - 20 с.
- [10] ГОСТ Р 32106-2013 Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Вибрация центробежных насосов и компрессорных агрегатов. - М.: Стандартинформ, 2014 - 5 с.
- [11] ГОСТ Р 56233-2014 Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Вибрация стационарных поршневых компрессоров. - М.: Стандартинформ, 2015 - 19 с.
- [12] Костюков В.Н. Мониторинг безопасности производства. — М.: Машиностроение, 2002. — 224 с.
- [13] Костюков А.В., Костюков В.Н. Повышение операционной эффективности предприятий на основе мониторинга в реальном времени. М.: Машиностроение, 2009. 192 с.



## VI ШКОЛА-СЕМИНАР

### 24 августа 2016 г.

**Оценка и управление  
индустриальными рисками  
в промышленной безопасности.  
Мониторинг рисков сложных  
и уникальных объектов**

Сборник материалов  
Омск, 2016



**VI ШКОЛА-СЕМИНАР**  
**24 августа 2016 г.**

**Оценка и управление  
индустриальными рисками  
в промышленной безопасности.  
Мониторинг рисков сложных  
и уникальных объектов**

**Сборник материалов  
Омск, 2016**

**УДК 628.5  
ББК ЗОн**

VI ШКОЛА-СЕМИНАР. 24 августа 2016 г. Оценка и управление индустриальными рисками в промышленной безопасности. Мониторинг рисков сложных и уникальных объектов. Сборник материалов. – Омск: типография «Золотой тираж» (ООО «Омскбланкиздат»), 2016 г. – 222 с.

**ISBN 978-5-8042-0505-9**

Сборник содержит материалы VI школы-семинара «Оценка и управление индустриальными рисками в промышленной безопасности. Мониторинг рисков эксплуатации оборудования производственно-транспортного комплекса России», который прошел 24 августа 2016 г. в г. Омске под эгидой Научно-промышленного союза «Управление рисками, промышленная безопасность, контроль и мониторинг» (НПС «РИСКОМ»). Материалы посвящены общей теории рисков, управлению промышленной безопасностью на основе анализа и мониторинга рисков, мониторингу технического состояния и автоматической диагностике динамического и статического оборудования в режиме реального времени, а также оценке риска эксплуатации и остаточного ресурса технических устройств, зданий и сооружений.

**УДК 628.5  
ББК ЗОн**

**ISBN 978-5-8042-0505-9**

© НПС «РИСКОМ», 2016  
© ООО «НПЦ ДИНАМИКА», 2016  
© Типография «Золотой тираж» (ООО «Омскбланкиздат»), 2016

## **Уважаемые коллеги!**

От имени ООО «Научно-производственный центр ДИНАМИКА – Диагностика, Надежность машин и Комплексная Автоматизация» в год 25-летия со дня основания Центра и 300-летия г. Омска сердечно приветствую участников VI школы-семинара «Оценка и управление индустриальными рисками в промышленной безопасности. Мониторинг рисков эксплуатации оборудования производственно-транспортного комплекса России». Очень рад, что вы нашли время для нашей встречи, которая позволит выработать новые перспективные подходы к совершенствованию комплексных систем мониторинга неисправностей и рисков безопасной эксплуатации оборудования производства и транспорта.

*Искренне желаю вам плодотворной работы, хорошего познавательного отдыха и участия в праздничных мероприятиях в Центре и городе!*

Председатель совета директоров ООО НПЦ Динамика,  
д.т.н., профессор, академик РИА и МАОН,  
генеральный конструктор систем мониторинга РИА,  
лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники,  
Костюков В.Н.



## **VI ШКОЛА-СЕМИНАР**

**24 августа 2016 г.**

**Оценка и управление  
индустриальными рисками  
в промышленной безопасности.  
Мониторинг рисков сложных  
и уникальных объектов**

Подписано в печать 29.11.2016 г. Формат 60x90/16.  
Печать офсетная. Бумага мелованная 90 г/м<sup>2</sup>.  
Печ. л. 13,88. Заказ № 276515. Тираж 100 экз.

Отпечатано в типографии «Золотой тираж» (ООО «Омскбланкиздат»).  
644007, г. Омск, ул. Орджоникидзе, 34. Тел. 8 (3812) 212-111.  
[www.zolotoytiраж.рф](http://www.zolotoytiраж.рф)