



# Системы комплексного мониторинга состояния оборудования в реальном времени

## Введение

Интуитивное понятие мониторинга связано с наблюдением за каким-либо объектом в процессе его функционирования в целях выявления основных особенностей поведения объекта на интервале наблюдения с акцентом на наиболее интересных моментах его поведения. Обычно объект характеризуется набором (вектором) характеристик или параметров, которые описывают его состояние. В этом случае наблюдение за объектом сводится к задаче наблюдения за его параметрами [1].

Параметры объекта, которые существенно изменяются при изменении его состояния, называют информативными. Другие параметры, которые при наблюдении за объектом в конкретных условиях изменяются мало или остаются постоянными независимо от его состояния,

06-201000



Костюков  
Владимир Николаевич

Генеральный директор НПЦ  
«Динамика», г. Омск. Д. т. н.,  
профессор. Лауреат премии  
Правительства РФ в области  
науки и техники.

On-Line Overall Condition Monitoring Systems

V. N. Kostyukov

The analysis of essence of condition monitoring of the equipment is presented. The structures of monitoring systems for equipment with various ware rates are considered. The advantages of net structures created on the base of Web-technologies for equipment control optimization within the whole enterprise are shown. The description of complex systems intended for the monitoring of complexes of machine, column-vessel and electromechanical equipment on the base of complex use of non-destructive testing methods are presented. The results of new class automated control systems implementation – safe resource-saving maintenance of equipment in large industrial complexes are given.

являются неинформативными в данных условиях. Информативность системы параметров определяется объемом информации о состоянии объекта, которую обеспечивает выбранная система. В ней могут оказаться и такие параметры, которые изменяются при неизменном состоянии объекта. Такие параметры считаются помехой и обычно исключаются из дальнейшего рассмотрения.

Иногда состояние объекта можно определить прямыми измерениями. Например, состояние человека считается неудовлетворительным при температуре тела более 37 °С. Правда, причину ее повышения еще предстоит определить, но то, что человек не здоров, всем понятно. Аналогично состояние смазываемого подшипника в машине оценивается как неудовлетворительное, если его температура превышает 90 °С, хотя причину такого состояния – плохое охлаждение, недостаток смазки или разрушение деталей – еще предстоит определить, поскольку это важно для осуществления компенсирующих мероприятий.

Часто приходится определять состояние оборудования (агрегата) по результатам косвенных измерений, когда измеряются параметры вторичных процессов, сопровождающих его функционирование в рабочем или испытательном режиме, например вибрации, акустической эмиссии и т. д. Из них выделяют диагностические признаки, которые связаны с конструктивно-технологическими параметрами агрегата, определяющими его техническое состояние и называемых структурными. Именно изменения структурных параметров: размеров, зазоров, шероховатостей поверхностей качения и скольжения,

напряжений и деформаций различных участков и т. д. определяют изменение состояния агрегата на всех стадиях его «жизненного цикла».

Здесь приходится применять весь арсенал методов обработки сигналов для выделения вектора наиболее информативных диагностических признаков  $Y$ . И тщательно формировать математические модели, описывающие их связи с техническим состоянием объекта, которое характеризуется вектором его структурных параметров  $X$ . Задача диагностики является обратной по отношению к задаче измерения:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{A} \mathbf{X}; \mathbf{X} = \mathbf{A}^{-1} \mathbf{Y},$$

где  $A$  – оператор преобразования неизвестных структурных параметров объекта  $\{X\}$  в характеристики наблюдаемых физических процессов – диагностические признаки  $\{Y\}$ ;  $A^{-1}$  – оператор обратного преобразования, позволяющий оценить значения структурных параметров, составляющих вектор  $\{X\}$ , по значениям диагностических признаков  $\{Y\}$ .

Задача диагностики по косвенным измерениям существенно осложняется тем обстоятельством, что операторы  $A$  и  $A^{-1}$  имеют нелинейный стохастический характер, и обычно решается итеративным методом на основе обширных экспериментальных исследований.

Новый методический подход заключается в синтезе ортогональных диагностических признаков  $\{Y\}$ , отражающих соответствующим образом сформулированные ортогональные классы неисправностей  $\{S\}$ , и описывающих их структурных параметров  $\{X\}$ . Это соответствует приведению оператора А к диагональной квадратной матрице, устанавливающей

взаимно-однозначное (регрессионное) отношение между диагностическим признаком и соответствующей обобщенной погрешностью, и задача мониторинга состояния – формирование правильной интерпретации обобщенной погрешности с учетом частоты появления классов неисправностей. Например, рост виброскорости корпуса центробежного насоса НХК, перекачивающего бензин, соответствует росту обобщенной погрешности «нарушение центровки – дисбаланс». При этом в 85 % случаев наблюдается нарушение центровки и лишь в 10 – 15 % – дисбаланс. Менее 5 % случаев роста виброскорости обусловлены другими причинами. Наличие такой интерпретации «причина – следствие» (погрешности – вибрация) эквивалентно приведению матрицы наблюдения к диагональной квадратной форме и соответствует мониторингу состояния. Отсутствие такой интерпретации соответствует мониторингу параметра (вибрации, температуры и т. д.).

### Мониторинг состояния

Таким образом, мониторинг состояния объекта становится возможным только тогда, когда мы умеем решать задачу его диагностики в течение весьма ограниченного времени. Последнее определяется интервалом развития тех особенностей, которые мы хотим зарегистрировать посредством мониторинга. Для технических объектов задача мониторинга заключается в своевременном обнаружении зарождающихся неисправностей, наблюдении за их развитием до критического состояния и своевременном оповещении персонала о неисправности для выработки конкретных компенсирующих мероприятий с целью обеспечения максимальной продолжительности эксплуатации объекта и своевременного безаварийного вывода его в ремонт.

Отсюда следует принципиальный вывод о том, что интервал времени мониторинга, в течение которого осуществляется подготовка к измерениям, измерение, диагностика состояния, выдача предписания персоналу и исполнение последним этого диагностического предписания, должен быть существенно меньше интервала развития неисправности в агрегате от момента обнаружения до критического уровня. Как показывают результаты широкомасштабного мониторинга агрегатов нефтехимических комплексов, минимальные интервалы развития неисправностей до критических уровней не превышают 10 – 20 мин, но из-за неблагоприятного влияния «человеческого фактора» могут быть существенно короче и не превышать 3 – 5 мин. Именно необходимость предотвращения аварий, вызванных указанными причинами, определила появление автоматических ста-

ционарных систем мониторинга технического состояния оборудования опасных производственных объектов (ОПО), прежде всего нефтехимических [5, 6], металлургических [7] комплексов и объектов ж.-д. транспорта [8]. Интервал диагностирования каждого из нескольких десятков агрегатов, составляющих ОПО в стационарных системах, не превышает нескольких минут, что позволяет надежно защи-

Любая система распознавания технического состояния характеризуется статической, динамической ошибками и риском пропуска опасного состояния. Статическая ошибка первого рода: пропуск своевременного распознавания опасного состояния оборудования, вызванный тем, что неисправное состояние оборудования система воспринимает (диагностирует) как исправное. Динами-

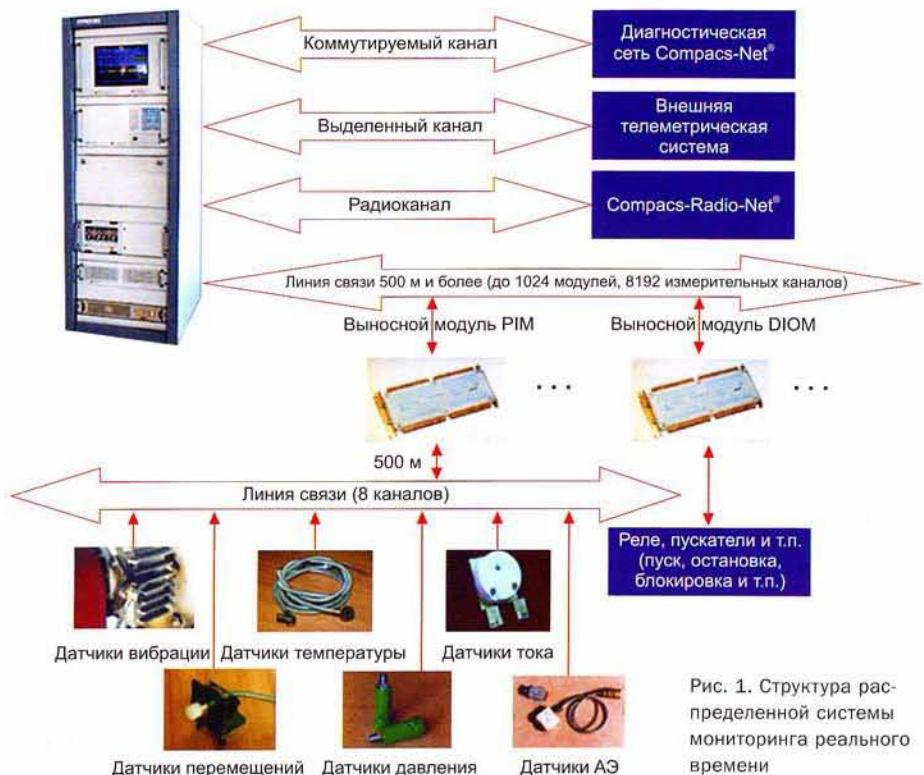


Рис. 1. Структура распределенной системы мониторинга реального времени

тить производственный комплекс от аварий и производственных неполадок.

Таким образом, необходимость учета фактора времени есть коренное отличие мониторинга от диагностики. Это позволяет нам определить **мониторинг технического состояния агрегата (мониторинг агрегата)** как наблюдение за техническим состоянием агрегата (конструкции, машины, узла, механизма) для определения и предсказания момента перехода в предельное состояние. Результат мониторинга агрегата представляет собой совокупность диагнозов составляющих его объектов (конструкций, машин, узлов, механизмов), получаемых на неразрывно примыкающих друг к другу интервалах времени, в течение которых состояние агрегата существенно не изменяется. Мониторинг представляет собой диагностику, развернутую во времени. Принципиальным отличием мониторинга состояния от мониторинга параметров является наличие интерпретатора измеренных параметров в терминах технического состояния агрегата (экспертной системы поддержки принятия решения о состоянии объекта и дальнейшем управлении).

ческая ошибка первого рода: пропуск своевременного распознавания опасного состояния оборудования, вызванный тем, что период мониторинга (диагностирования) превышает интервал развития неисправности от момента ее обнаружения до предельного состояния оборудования. Риск пропуска опасного состояния оборудования: совокупность статической, динамической ошибок и влияния человеческого фактора, обусловленного несвоевременным выполнением персоналом предписаний системы мониторинга по устранению обнаруженного системой опасного состояния оборудования. Ошибки и риски второго рода приводят к ложным тревогам и определяются аналогично.

### Системы мониторинга

Система мониторинга состояния оборудования может быть определена как система (машина), продуктом которой является текущая информация о техническом состоянии оборудования и его опасности с необходимыми комментариями (прогноз остаточного ресурса, предписания на неотложные действия персонала и т. д.) и заданным риском.

Скорость износа и потери ресурса разными видами оборудования в разных условиях эксплуатации различна, и системы мониторинга его состояния имеют различное быстродействие, определяемое интервалом диагностирования. Чем меньше риск пропуска опасного состояния обеспечивает система, тем, как правило, она дороже. Для мониторинга разных категорий оборудования целесо-

– диагностическую станцию на базе промышленного компьютера, управляющую распределенный полевой сетью модулями, собирающими информацию с датчиков, установленных на промышленном оборудовании, обрабатывающую данные по специальным программам и представляющую результаты диагностики и мониторинга персоналу;



Рис. 2. Структура диагностической сети предприятия на базе Web-технологий и совокупности стационарных и персональных систем мониторинга

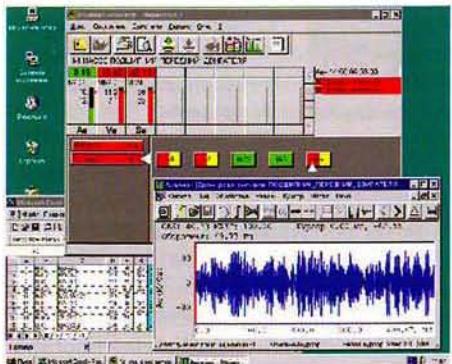


Рис. 3. Персональная система мониторинга Compacts®-micro с автоматической диагностикой оборудования

образно использовать системы разных классов. Принципы классификации систем мониторинга по 13 признакам изложены в стандарте [4]. Классификация оборудования и производств осуществляется на основе матрицы риска, учитывающей возможные экономические, экологические и людские потери. Системы первого класса с минимальным риском применяются для оборудования первой категории, проблемы с которым приводят к наиболее существенным потерям.

Распределенная система диагностики и мониторинга (СДМ) реального времени [2], установленная на технологической установке или производстве (рис. 1), включает в себя:



- распределенную систему выносных модулей, обеспечивающую существенную экономию кабеля и затрат на строительно-монтажные работы;
- распределенную систему датчиков, воспринимающих параметры физических процессов, отражающих техническое состояние оборудования.

Система непрерывно автоматически осуществляет мониторинг состояния оборудования и выдает предписания персоналу для приведения состояния в норму благодаря встроенной автоматической экспертной системе, которая интерпретирует значения измеренных диагностических признаков в терминах технического состояния защищаемого оборудования.

Диагностические станции систем мониторинга на установках обычно объединены в единую диагностическую сеть предприятия с предоставлением всем заинтересованным службам и руководству объективной картины состояния оборудования на предприятии в целом посредством Web-технологий (рис. 2).

Для мониторинга оборудования с медленно изменяющимся техническим состоянием используют персональные системы диагностики на базе ноутбука или PDA-станции, которыми оснащаются механики установок и специалисты службы технадзора. Для сокращения времени получения диагноза, повышения его достоверности и облегчения работы персональные системы также оснащаются автоматической экспертной системой и шлюзом для передачи результатов диагностики на диагностические станции и в диагностическую сеть предприятия (рис. 3). Единая база оборудования и методика его диагностирования в рамках всего предприятия обеспечивает высокую достоверность диагноза и эффективность компенсирующих мероприятий по обеспечению надлежащего технического состояния всего оборудования.

Совокупность этих трех составляющих (стационарных систем мониторинга состояния критического оборудования в реальном времени; персональных переносных систем мониторинга оборудования с медленно меняющимся техническим состоянием; диагностической сети предприятия) представляет собой автоматизированную систему управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования всего предприятия в реальном времени – АСУБЭР™. Она по современной классификации MES относится к системам, в основе которых лежит автоматическое получение и практическое использование в реальном времени диагностической информации о состоянии оборудования [1, 2]. MES-системы занимают промежуточное положение между системами АСУТП (SCADA – системами нижнего уровня) и системами планирования ресурсов предприятия (ERP – системами верхнего уровня), и, решая задачи управления на своем уровне (службы энергетика, механика, технолога и т. п.), призваны уменьшить или устранить совсем ручной ввод данных в ERP-системы, что позволяет существенно уменьшить влияние «человеческого фактора» на качество принимаемых решений при управлении производством и эксплуатацией оборудования (рис. 4).

АСУБЭР™ как производственные исполнительные системы мониторинга состояния оборудования предприятия в реальном времени позволяют решать следующие задачи:

1. Диагностика и прогнозирование основных неисправностей (> 95 – 98 %) оборудования с ранним обнаружением, полным использованием ресурса и сохранением ремонтопригодности.

Диагностика осуществляется автоматически (без участия человека) встроенной экспертной системой. Основной проблемой конструирования автоматических диагностических экспертных систем на

разработаны принципы, структура и язык синтеза многоуровневых аддитивных экспертных систем (ЭС) поддержки принятия решения при диагностике механизмов, машин и агрегатов и созданы экспертные системы, содержание которых определяется предметной областью СДМ и минимумом априорной информации. На первом уровне синтеза необходима априорная информация о мощности и типе агрегата, что достаточно для реализации методик статической и динамической диагностики по стандартным вибропараметрам и скоростям роста. На вто-

размещаемым внутри телесного угла вектора динамических сил при различных неисправностях; унифицированных устройств их крепления, опирающихся на типовые резьбовые соединения в агрегатах; и уникальных пьезодатчиков с высокой собственной емкостью, которая обеспечивает низкий уровень собственных шумов, не превышающий единиц микрометров, при работе на длинные линии связи в несколько сот метров.

Предложена методика нормирования диагностических параметров, опирающаяся на статистические распределения диагностических признаков исправных агрегатов и нормирования критических значений на уровне 95 – 98 процентиелей распределения. На базе этой методики разработаны, широко апробированы и утверждены Минтопэнерго и Госгортехнадзором России Руководящий документ и вибрационные нормативы безопасной эксплуатации насосно-компрессорных агрегатов НХК, в которых впервые пронормированы совместно виброскорение, виброскорость, виброперемещение и скорости их роста на интервале жизни агрегата для диагностики и эксплуатации по фактическому техническому состоянию. Менее 5 % агрегатов за 15 лет эксплуатации этих норм потребовало впоследствии уточнения критических границ как в сторону увеличения (высокооборотные, 12000 мин<sup>-1</sup>, центробежные компрессоры), так и в сторону уменьшения (низкооборотные, 430 мин<sup>-1</sup>, водяные насосы) в связи с улучшением качества ремонта приводных электродвигателей и фундаментов на установках. Разработанные нормативы успешно работают на импортных и отечественных агрегатах более 1000 типов в разных климатических зонах страны в ближнем и дальнем зарубежье. Это позволяет утверждать, что найденные критические значения вибропараметров являются инвариантами для широкого класса агрегатов НХК [3]. На базе разработанных принципов, структур и методик разработаны СДМ квазистатического оборудования, для серийного и ремонтного производства.

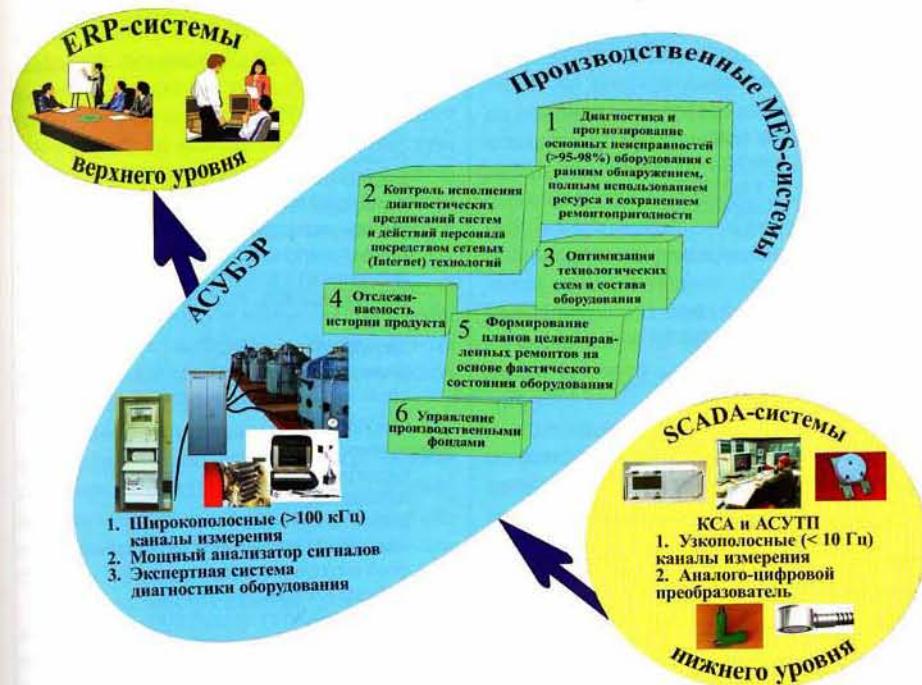


Рис. 4. ACU БЭР™ – MES-системы реального времени нового класса безопасной ресурсосберегающей эксплуатации оборудования

производстве является проблема их конфигурирования для реально действующего оборудования в условиях априорной неопределенности относительно конструкции и условий работы оборудования. Традиционные подходы к построению таких систем требуют наличия полной информации о конструкции машины, включая, например, типы используемых подшипников, муфты и т. п. Сама по себе очень трудоемкая задача начального конфигурирования такой системы на уровне производства или предприятия делает практически невыполнимой задачу поддержки этой конфигурации в актуальном состоянии, когда в силу производственной необходимости меняют составные части оборудования с подходящими размерами, но с другими конструктивными особенностями. Для одного узла актуализация не сложна. Но для сотен и тысяч в год – неразрешимая проблема!

При разработке системы мониторинга была решена задача построения системы, инвариантной к конструкции и режиму функционирования агрегата, что позволило обеспечить успешную продолжительную работу систем в условиях реального производства.

На третьем уровне синтеза необходима информация о частоте вращения и структуре машины, что позволяет реализовать методики автоматического распознавания спектра с уточнением структуры машины и фильтрацией шумовых и периодических составляющих (ШПС). Ортогональных признаков при этом достаточно для надежной диагностики всех основных дефектов агрегатов. На четвертом уровне синтеза требуется информация о конструкции отдельных узлов, например подшипников. На последующих уровнях используются специальные программно-технические средства для реализации специальных методик диагностики: синхронных измерений по нескольким каналам; с привязкой к углу поворота вала и т. д. Специализированный язык программирования CDPL™ структур СДМ и ЭС является языком интерпретирующего типа с графической средой разработки программ, которая представляет собой графическое описание функций и связей между ними. Все функции языка скомпилированы и включены в ядро системы, что позволяет оптимизировать по скорости выполнения сложные операции, требующие большого количества вычислений, и упростить программу. Базы данных оборудования и базы знаний в экспертной системе отделены от исполняемого кода, что позволяет модифицировать ЭС, не затрагивая основной программы.

Предложена методика обеспечения контроллерами агрегатов НХК взрывозащищенного исполнения [3] путем расширения полосы частот для диагностики (с использованием А, В, С); оригинального способа замены трехкоординатного датчика однокоординатным типа Vibro-scalar,

Экспертная система КОМПАКС® реализует вибрационные, акустико-эмиссионные, токовые, ультразвуковые, тепловые и параметрические (давление, уровень, расход, температура) методы диагностирования и относится к классу экспертных систем поддержки принятия решений, то есть задачей ЭС является помочь обслуживающему персоналу в принятии необходимых обоснованных решений по управлению режимом работы и состоянием оборудования.

Система КОМПАКС®, получая сигналы с датчиков, размещенных на диагностируемом оборудовании, формирует вектор диагностических признаков, включающий 4 группы:

- признаки общего вида по сигналам с датчиков;
- параметры режима работы оборудования;
- признаки, рассчитанные в результате спектрально-корреляционной обработки сигналов;
- признаки трендов и скоростей изменения признаков.

Вектор диагностических признаков поступает в блок обработки логических предиктов ЭС, по результатам работы которого формируются выводы экс-

пертной системы. В основе логических предикатов лежит РД [10], утвержденный МинЭнерго и Госторгнадзором РФ. В результате автоматическая диагностическая экспертная система выдает диагностические предписания на основной экран в виде текстовых сообщений, а также формирует команды модулю вывода речевых предупреждений. Экспертная система позволяет диагностировать: подшипники качения, клапаны, редукторы, электродвигатели, центробежные насосы, центробежные и поршневые компрессоры (табл. 1).

Независимость от диагностируемого оборудования позволяет пользователям легко конфигурировать и распространять систему. В настоящее время она охватывает более 1000 типов агрегатов. Благодаря наличию мощного встроенного языка программирования CDPL легко реализуются новые правила, основанные на опыте персонала, эксплуатирующего систему.

## 2. Предупреждение персонала о ближайших неотложных действиях по управлению состоянием оборудования

В отличие от систем, осуществляющих мониторинг отдельных параметров агрегата (виброскорость, температура) или «гадающих» о его состоянии (с вероятностью такой-то дефект составляет столько-то процентов /«слабый», «средний» и т. д./), система КОМПАКС® осуществляет непрерывный мониторинг его состояния, результат которого представляет собой совокупность диагнозов составляющих агрегат узлов и механизмов (субъектов) с указанием наиболее опасного узла. Опасность технического состояния субъекта обратно пропорциональна продолжительности достижения им предельного состояния (остаточному ресурсу) и определяется отношением текущей скорости утраты работоспособности к текущему запасу работоспособности.

Оценка состояния каждого агрегата отображается на мониторе с помощью цветных пиктограмм (зеленый цвет – норма, желтый – требует принятия мер, красный – недопустимо) и цифровых значений параметров. Система осуществляет прогноз ресурса машины, выдает речевое предупреждение персоналу о грозящей аварии или неполадке, выдачу предписаний персоналу по работе с критическим оборудованием, вывод оборудования в ремонт и приемку его из ремонта. Поддерживается также режим защитного мониторинга с автоматическим отключением опасных агрегатов на основе диалога с персоналом.

## 3. Контроль исполнения диагностических предписаний систем и действий персонала посредством сетевых Web-технологий

Для оперативного контроля исполнения предписаний автоматических диаг-

ностических систем используется диагностическая сеть Compacts-Net® – мощное средство для передачи и представления информации о техническом состоянии оборудования, диагностируемого стационарными системами мониторинга КОМПАКС®, контролю сигнальной аппаратурой КОМПАКС®- КСА, персональной системой диагностики Compacts®- micro. Структура сети приведена на рис. 3.

чен WEB-сайт, содержащий JAVA-апплеты и CGI-модули, позволяющие пользователям получать необходимую информацию в наглядном виде. Для визуализации диагностической информации, получения отчетов, анализа трендов и сигналов на станциях пользователей используется ПО КОМПАКС®-ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ 7.1 совместно с браузером Microsoft® Internet Explorer. Возможен также инди-

Табл. 1 Неисправности, заблаговременно обнаруживаемые и автоматически указываемые системой КОМПАКС®

<b>Роторной части:</b>	<b>Подшипника:</b>
<b>дисбаланс:</b>	<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>
<b>расцентровка:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– насосного агрегата;</li> <li>– компрессорной установки;</li> <li>– дефекты муфты;</li> <li>– механическое ослабление муфты;</li> <li>– срез вала;</li> <li>– недопустимое биение ротора;</li> <li>– недопустимый осевой сдвиг ротора.</li> </ul>	
<b>Дефекты зубчатых передач:</b>	<b>Электрические:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– дефекты зубьев;</li> <li>– нарушение взаимного расположения шестерен;</li> <li>– эксцентриситет зубчатого колеса;</li> <li>– недостаток смазки.</li> </ul>	<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>– эксцентриситет воздушного зазора;</li> <li>– эксцентриситет ротора.</li> </ul>
<b>Нарушения крепления:</b>	<b>Дефекты поршневых компрессоров:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– насоса;</li> <li>– электродвигателя;</li> <li>– компрессора;</li> <li>– вентилятора;</li> <li>– турбины;</li> <li>– редуктора.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– дефекты клапанов;</li> <li>– состояние деталей кривошипно-шатунной группы;</li> <li>– ослабление гайки поршня;</li> <li>– зазоры в деталях цилиндро-поршневой группы;</li> <li>– гидроудар.</li> </ul>
<b>Гидравлические:</b>	<b>Прочие:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– кавитация;</li> <li>– гидроудар;</li> <li>– прохват;</li> <li>– помпаж в компрессоре.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– состояние торцевых уплотнений;</li> <li>– изменение линейных размеров технологических объектов.</li> </ul>
<b>Температурные:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– перегрев;</li> <li>– неравномерность нагрева.</li> </ul>	

Информация о техническом состоянии диагностируемого оборудования с помощью сети Compacts-Net® передается руководителям предприятия, заинтересованных служб, подразделений – пользователям сети для осуществления с их стороны контроля как правильной эксплуатации оборудования, так и работы персонала. Центральным элементом диагностической сети является сервер, который играет роль централизованного сборщика диагностической информации. Сервер периодически опрашивает подключенные к диагностической сети станции стационарных систем и сохраняет полученные данные в виде SQL-баз данных. Работа с пользователями осуществляется посредством WEB-интерфейса. В ПО КОМПАКС®-СЕРВЕР 7.0 вклю-

видуальный опрос пользователем разрешенных ему диагностических станций и установок на основе разграничения прав доступа. Работа диагностической сети возможна по коммутируемым линиям (телефону), по кабельным, оптоволоконным и радиоканалам Ethernet.

## 4. Формирование планов целенаправленных ремонтов на основе фактического состояния оборудования

Диагностическая сеть Compacts-Net® является одним из основных элементов технологии эксплуатации оборудования по фактическому техническому состоянию, так как своевременное получение информации о техническом состоянии оборудования позволяет управлять процессами обслуживания и ремонта, отказаться от графиков планово-предупредительных ремонтов.

Пользователи сети получают перечни оборудования по всему предприятию и отдельно по технологическому объекту, нуждающемуся в выводе из эксплуатации и выполнении срочного ремонта или находящегося в ремонте. Кроме того, система имеет встроенный «Журнал механика-электрика», который автоматически формирует планы ремонтов оборудования и передает их на станции пользователей сети. В журнале содержится набор модулей, позволяющих автоматизировать документирование и планирование ремонтных работ. В процессе работы система автоматически определяет режим работы агрегатов по параметрам тока, вибрации или температуры и автоматически ведет учет наработок агрегатов. Опираясь на известные наработки агрегатов, сохраненные в базе данных системы, и на информацию, введенную механиком о типах и причинах ремонтов, проведенных работах и выполненных заменах, ведется расчет ресурсов узлов агрегатов между ремонтами.

Важными результатами данной информации являются протоколы планирования ремонтов. Система позволяет автоматически формировать планы ремонтов в зависимости от текущего состояния оборудования.

Важным инструментом для анализа аварийных ситуаций на производстве является журнал событий, в котором в хронологическом порядке фиксируются все события, связанные как с диагностируемым оборудованием, программно-аппаратными средствами самой системы (самодиагностика), так и действиями обслуживающего персонала.

Журнал механика-электрика и журнал событий реализуют надежную обратную связь между предписаниями системы мониторинга и действиями персонала, который при каждой манипуляции с агрегатом или режимом его работы обязан ввести квитирующее сообщение в систему либо указать причину останова агрегата, указать типы выполненных ремонтов, работ и произведенных замен.

Разработанная технология обеспечивает надежный контроль действий персонала: если ответственное лицо на установке не произвело необходимого квитирования, об этом через диагностическую сеть автоматически оповещаются все руководители вышестоящих звеньев управления. Так обеспечивается неукоснительная доставка и реализация диагностического предписания персоналу и контроль его выполнения независимо от желаний, самочувствия операторов и прочих субъективных факторов.

## 5. Устранение ошибок проектирования и монтажа

Применение АСУ БЭР КОМПАКС® позволяет реализовать технологию ресур-

сosберающей эксплуатации и ликвидации фундаментальных причин отказов агрегатов (ЛИФПОТ™).

Основные причины отказов механического оборудования можно разделить на две группы: низкое качество изготовления, ремонта и монтажа на установке; низкое качество его эксплуатации.

Анализ качества отремонтированного оборудования, предъявляемого к приемке в эксплуатацию, показывает, что четверть агрегатов не нуждалась в ремонте, а половина агрегатов после ремонта имела такое же недопустимое состояние, как и до ремонта, что требовало их демонтажа и возврата для устранения выявленных недостатков. Основные проблемы при этом были связаны с установкой некачественных, хотя и новых, подшипников; плохой балансировкой роторов насосов и двигателей, некачественной центровкой валов, нарушением условий крепления агрегатов на фундаменте, дефектами самого фундамента и анкерных болтов, рядом других сопутствующих причин. Важнейшие из них – это причины связанные с неудачной компоновкой агрегатов и разводкой трубопроводных связей, неправильный подбор агрегатов по мощности, нарушения технологических режимов. Подтверждается правило Парето – менее 20 % агрегатов требуют более 80 % затрат на обслуживание и ремонт. Выявление таких агрегатов обеспечивают СДМ, и персонал на основе этой информации разрабатывает планы и осуществляет ликвидацию фундаментальных причин отказов. Стационарные системы диагностики и мониторинга устраниют и другую фундаментальную причину отказов агрегатов, вызванную низким качеством работ, обеспечивая объективную оценку состояния при приемке оборудования в эксплуатацию после ремонта и монтажа на установке.

## 6. Оптимизация технологических схем и состава оборудования

Результаты автоматического мониторинга состояния агрегатов НХК, получаемые персоналом как в операторной, так и по диагностической сети, дают возможность:

- четко определять нерегламентный режим работы агрегатов;
- выявлять агрегаты, работающие с малым к. п. д. и излишним расходом электроэнергии;
- целенаправленно проводить замену оборудования и трубопроводной связи, используя технологию ликвидации фундаментальных причин отказов оборудования ЛИФПОТ™;
- автоматически учитывать длительность работы оборудования и межремонтный пробег с начала эксплуатации;
- обнаруживать быстроразвивающиеся дефекты, являющиеся главными причинами аварий, и заблаговременно предупреждать о них персонал;

– полностью использовать ресурс диагностируемого оборудования, сохранить его ремонтопригодность и тем самым снизить потребность в новом оборудовании;

– обеспечивать целенаправленную работу служб главного механика, главного энергетика и технического надзора по улучшению состояния всего парка диагностируемых агрегатов до существующих норм и поддержанию их состояния на высоком уровне.

## 7. Ведение баз данных диагнозов, работ, замен и ресурсов оборудования, представление отчетов на всех уровнях управления предприятием

Базы данных системы имеют распределенную многоуровневую структуру. Базы данных стационарных систем обеспечивают:

- ведение архива значений диагностических признаков в реальном времени;
- ведение архива ремонтных работ и замен, проводимых на оборудовании, учет наработки;
- автоматическое сохранение временных реализаций сигналов по заданному периоду или при изменении состояния соответствующих параметров;
- автоматическое сохранение трендов при появлении недопустимого состояния измеряемых параметров;
- сохранение трендов, сигналов и конфигурации на внешнем носителе для проведения анализа в лаборатории.

Базы данных сервера диагностической сети включают в себя данные как стационарных, так и персональных систем диагностики и обеспечивают доступ к ним посредством Web-интерфейса и SQL-запросов.

## Принципы синтеза адаптивных систем мониторинга

Результаты фундаментальных исследований закономерностей потери работоспособности агрегатами позволил сформулировать ряд общих принципов синтеза адаптивных систем непрерывного мониторинга и автоматизированных систем управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования (АСУ БЭР™):

1. Принцип достаточности регламентирует выбор минимального числа датчиков вторичных процессов, сопровождающих работу машин, оборудования и технологической системы в целом, обеспечивающих наблюдаемость технического состояния. При этом выходной сигнал датчиков может быть представлен в широком диапазоне амплитуд и частот с последующей обработкой его в компьютере (обнаружением, фильтрацией, линеаризацией, коррекцией амплитудно-фазовых характеристик и т. д.). Диагнос-

тика машинного оборудования основана на измерении некоторого множества первичных диагностических признаков, характеризующих его работу (температура, вибрация, частота вращения, давление, расход и т. д.), и дальнейшей связи их с множеством технических состояний (неисправности подшипников, расцентровка, дисбаланс, дефекты крепления и т. д.). Для увеличения достоверности и глубины диагноза требуется увеличивать пространство диагностических признаков, для чего существуют два пути: увеличение числа измерительных точек (датчиков) на диагностируемой машине и увеличение числа признаков, получаемых с одного датчика. Большинство датчиков, используемых в настоящее время для измерения в промышленности, имеет статический выходной сигнал. Если в случае измерения статических параметров, таких как, например, температура, потери информации не происходят, то в случае динамических параметров (вибрация, ток, давление) происходит потеря информации, содержащейся в высокочастотной части спектра параметра. Использование динамических преобразователей, спектр выходного сигнала которых максимально приближен к спектру параметра, позволяет расширить пространство диагностических признаков и тем самым уменьшить ошибку диагноза и расширить пространство диагностируемых технических состояний без увеличения числа датчиков, кабельных сетей и др. путем введения адекватной обработки сигналов на ЭВМ. Реализация этого принципа на практике в составе систем КОМПАКС® позволила вместо 12 датчиков виброскорости, устанавливаемых в разных местах насосного агрегата, использовать только 2 вибродатчика и практически отказаться от использования датчиков температур как не обеспечивающих наблюдаемость состояния насосного агрегата.

**2. Принцип информационной полноты** отражает ограниченность наших знаний об окружающем мире и в общем виде может быть сформулирован так, что помимо известных нам диагностических признаков, описывающих техническое состояние объекта известным образом, из спектра сигнала после удаления из него известных признаков выделяется остаточный «шум», параметры которого также используются для диагностики. Результаты теоретических и экспериментальных исследований показывают, что в большинстве случаев система признаков, включающая характеристики «шума» почти ортогональна, т. е. «шум» действительно отражает ряд неучтенных в известных диагностических признаках факторов технического состояния, таких, например, как заеда-

ния и затирания в уплотнениях и подшипниках. Использование этого принципа в экспертной системе КОМПАКС® обеспечило высокую достоверность (не менее 95 %) определения фактического состояния машин и агрегатов.

**3. Принцип инвариантности** регламентирует выбор и селекцию таких диагностических признаков, которые инвариантны к конструкции машины и форме связи с параметрами ее технического состояния, что обеспечивает применение быстрых самообучающихся процедур безэталонной диагностики и прогнозирования ресурса машин и, соответственно, быстрые темпы разработки и внедрения систем.

**4. Принцип самодиагностики** всех измерительных и управляющих каналов систем обеспечивает легкий пуск их в эксплуатацию, простоту обслуживания и ремонта отдельных каналов, высокую метрологическую и функциональную надежность системы, ее выживаемость и приспособляемость к постоянно меняющимся условиям реального производства. Принцип реализуется подачей специальных стимулирующих сигналов в цепь датчика и компьютерного анализа этого сигнала на выходе системы после АЦП. Таким образом проверяется функционирование всего тракта от датчика, через выносные модули и разветвители, до компьютерной программы и монитора.

**5. Принцип структурной гибкости и программируемости** обеспечивает реализацию оптимальной параллельно-последовательной структуры ИДС, исходя из критерии необходимого быстродействия при минимальной стоимости. Системы с параллельной сосредоточенной структурой (VME-VXI) имеют максимальное быстродействие при максимальной стоимости. Системы с последовательной распределенной структурой имеют минимальное быстродействие при минимальной стоимости. Системы с последовательно-параллельной структурой занимают промежуточное положение. Главным недостатком применения параллельных систем во взрывопожароопасных производствах нефтеперерабатывающей, газовой и химической промышленности является большой расход кабеля, необходимого для подключения датчиков к системе. Так, при средней длине кабеля от датчика до операторской 300 м и 100 датчиках, установленных на 50 диагностируемых машинах (небольшая система), требуется 30 км кабеля, что по стоимости становится близким к стоимости самой системы. Выбор структуры системы (степени параллельности) требует оценки ее необходимого быстродействия. Последнее определяется динамикой технического состояния диагностируемого объекта. Наличие в ИДС

ядра-ЭВМ обеспечивает адаптивное управление измерительными каналами и вычислением диагностических признаков в зависимости от разных факторов, прежде всего скорости деградации состояния технологического объекта.

**6. Принцип коррекции неидеальностей** измерительных трактов вычислительными методами на ЭВМ – нелинейности датчиков, амплитудно-фазовых характеристик согласующе-преобразовательных трактов и т. д.

**7. Принцип дружественности интерфейса** при максимальной информационной емкости обеспечивает восприятие оператором состояния технологической системы в целом при одном взгляде на монитор и получение целеуказывающего предписания на ближайшие неотложные действия. Осуществление этого принципа возможно только при наличии ЭВМ, дисплея с графическими экранами, комплексно отражающими состояние объекта и его свойств в автоматическом режиме и под управлением оператора, средств мультимедиа и встроенной экспертной системы, диагностирующей состояние машин и технологической системы в целом.

**8. Принцип многоуровневой организации** обеспечивает работу с системой специалистам разных уровней квалификации и ответственности, а также позволяет удовлетворять любознательность персонала по мере повышения его квалификации. На первом уровне (при работе с машинистами и слесарями) система не требует от них почти никаких знаний, кроме клавиши «пробел», нажатием на которую квотируют прием сообщения системы о состоянии оборудования и указаний по его эксплуатации. На втором уровне (при работе с механиками и ИТР) требуется выполнение операций по управлению опциями меню для рассмотрения трендов процессов и результатов анализа сигналов, в том числе спектрального. На этом уровне работают также вибродиагносты отделов и цехов технического надзора за состоянием оборудования. Благодаря наличию сетевой поддержки системы разных цехов объединяются в диагностическую сеть предприятия, к которой подключены компьютеры вибродиагностов технадзора и пользователей-руководителей – от заместителей и начальников цехов до главных механиков и инженеров производств и предприятия в целом. Такой многоуровневый контроль обеспечивает эффективное управление состоянием оборудования и его безопасной эксплуатацией.

Следует отметить, что некоторые принципы, сформулированные специалистами НПЦ «Динамика» еще в начале 1990-х гг. только сейчас начинают появляться в виде стандар-

тов и рекомендаций. Например, принцип дружественности интерфейса при максимальной информационной емкости с выдачей целевуказующих предписаний находит в настоящее время отражение в рекомендациях консорциума производителей SCADA систем EEMUA: «Each alarm should alert, inform and guide» (Publication No 191 EEMUA Alarm System Guide).

Бум технологий Fieldbus в конце 1990-х гг. возник при уже давно работающих в России системах с использованием эффективной измери-

реализовать технологию ресурсосберегающей эксплуатации и ликвидации фундаментальных причин отказов агрегатов (ЛИФПО™), которые обусловлены недостаточной наблюдаемостью качества изготовления, ремонта и монтажа агрегатов на установке и качества последующей эксплуатации.

Уникальность системы КОМПАКС® состоит в том, что она объединила в себя системы нескольких классов: систему

га, обеспечение двусторонней передачи значений контролируемых параметров, предоставление экспертных сообщений систем мониторинга в виде отдельных тегов, автоматическое обновление дерева тегов в случае изменения конфигураций систем. Оно устанавливается на интеграционную станцию сети АСУ-ТП. Работает под управлением ОС Windows® 9x/NT 4/2000/XP.

Для передачи данных на верхний уровень (например, в имеющуюся на предприятии ERP-систему) используется язык SQL-запросов к имеющейся на сервере диагностической сети Compacs-Net® базе данных.

Наряду с поддержкой протокола OPC система мониторинга имеет встроенный Web-сервер, который также может использоваться для получения информации о работе оборудования как пользователям сети Compacs-Net®, используя стандартный Интернет браузер, так и программными средствами, используя протокол http. Необходимо отметить, что новизна технических решений, заложенных в системах, защищена 37 патентами на изобретения, 16 свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ, 12 товарными знаками.

### Заключение

Фундаментальные результаты, полученные при создании и эксплуатации систем мониторинга, разработанных согласно изложенных идея, принципов и подходов, на 60 предприятиях страны и за рубежом, показывают, что эти системы являются надежным средством защиты от техногенных аварий, большинство которых происходит из-за ошибок производственного персонала, и незаменимым средством подсказки рациональных решений при планировании объемов и сроков ремонтов, замены оборудования и оценки результатов этой замены [5]. Системы являются идеальным средством контроля исполнительской дисциплины персонала и качества его работы. Они обеспечивают наблюдаемость состояния выпускаемого, ремонтируемого и эксплуатируемого оборудования, управляемость его качеством на всех стадиях жизненного цикла, устойчивость, безопасность и эффективность производства.

Внедрение на предприятиях с непрерывным производственным циклом новой сберегающей (Safe Maintenance – SM™) технологии эксплуатации оборудования позволяет благодаря проведению в реальном времени своевременного и целенаправленного технического обслуживания, основанного на знании технического состояния оборудования, исключить аварии как фактор опасного производства, увеличив межаварийный

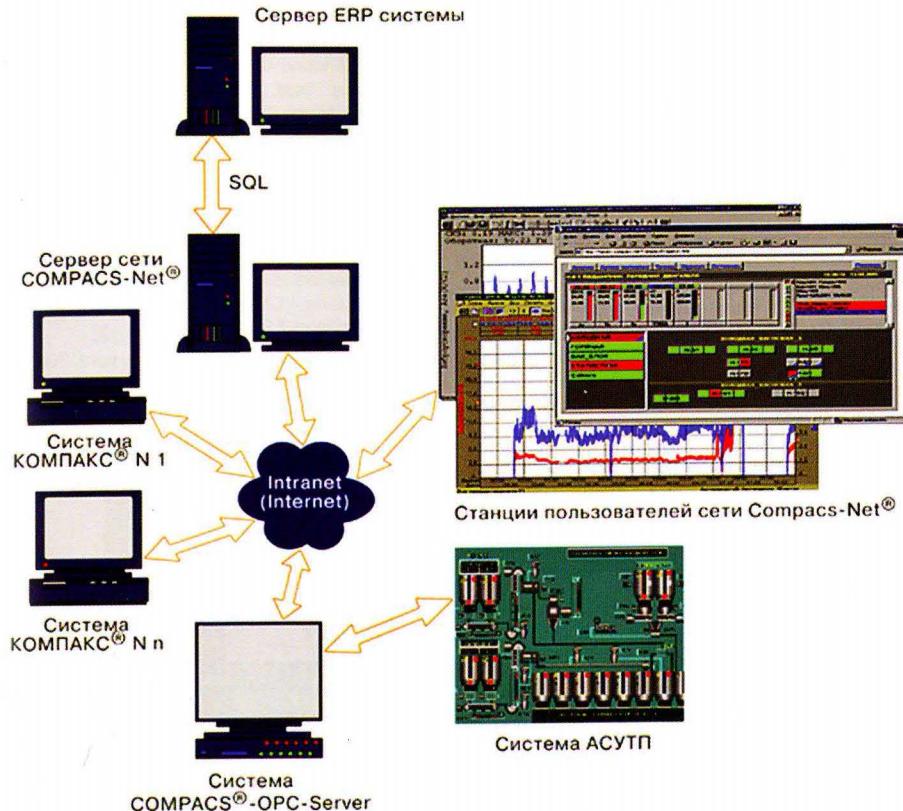


Рис. 5. Структурная схема взаимодействия систем КОМПАКС®, систем АСУТП и ERP

тельно-управляющей распределенной полевой сети CorNet® (принцип структурной гибкости и программируемости). Изложенные принципы и подходы позволили сформулировать и реализовать на практике при внедрении систем стратегию диагностики минимальной стоимости – СДМС™, которая при проектировании опирается на инвариантные диагностические модели и методики, сокращающие сроки проектирования в условиях априорной неопределенности; а при производстве – на распределенную сетевую модульную структуру программных и аппаратных средств, самодиагностику и автоматизированную поверку, снижающих затраты на строительно-монтажные и пусконаладочные работы и обеспечивающих быстрый поэтапный ввод систем в эксплуатацию; в эксплуатации – на полную прозрачность состояния агрегатов, персонала и самих программно-аппаратных средств. После довательная реализация СДМС™ на всех этапах создания, внедрения и эксплуатации систем обеспечивает низкую стоимость получения и реализации диагностических предписаний по фактическому состоянию оборудования, которая с учетом всех затрат на внедрение оборудования, подготовку персонала, эксплуатацию СДМ и контроль за исполнением этого предписания не превышает 0,01 коп! Повышение производительности диагностики и мониторинга по сравнению с переносными приборами превышает миллионы раз. Применение СДМ позволяет

АСУТП, позволяющую проводить измерение медленно меняющихся параметров температуры, давления, уровня, расхода и т. п.; диагностическую экспертную систему на основе анализа широкополосных сигналов вибрации, акустической эмиссии; MES систему интегрирования всей информации о состоянии оборудования на предприятии с планированием ремонтов и замен. Для взаимодействия с внешними системами используются различные каналы связи и протоколы обмена. На рис. 5 приведена структурная схема взаимодействия систем мониторинга и систем АСУТП и ERP.

Обмен данными между системами АСУТП и системами мониторинга осуществляется с помощью специального программного продукта – COMPACS®-OPC Server по технологии OPC, ставшей в настоящее время основным стандартом для передачи данных в промышленных системах. ПО COMPACS®-OPC Server обеспечивает автоматическое построение дерева тегов по получаемым конфигурациям систем мониторин-

пробег производственных комплексов в 100 раз, увеличить межремонтный пробег оборудования в 5–10 раз, снизить в 4–6 раз затраты на ремонт основного технологического оборудования, увеличить межремонтный пробег технологических комплексов в целом и на этой основе значительно увеличить объемы выпускаемой продукции, сократить на 10–15 % сроки и объемы плановых остановочных ремонтов технологического оборудования [6]. Все это достигается без реконструкции производственно-технологической базы и связанных с этим огромных затрат благодаря тому, что стоимость систем мониторинга, реализующих SM<sup>TM</sup> технологию, в десятки и сотни раз ниже стоимости диагностируемых процессов и оборудования, что особенно актуально для отечественной экономики на современном этапе [6–8]. Мировой опыт подтверждает [9], что безопасная ресурсосберегающая эксплуатация (Safe-Save Maintenance – SSMT<sup>TM</sup>) оборудования на основе систем мониторинга реального времени есть технология XXI века!

**В. Н. Костюков. СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ...**

## Литература

1. Костюков В. Н. Мониторинг безопасности производства. – М.: Машиностроение, 2002. – 224 с.
2. Костюков В. Н., Бойченко С. Н., Костюков А. В. Автоматизированные системы управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств (АСУ БЭР-КОМПАКС®) / Под ред. В. Н. Костюкова. -- М.: Машиностроение, 1999. – 163 с.
3. Центробежные насосные и компрессорные агрегаты опасных производств. Эксплуатационные нормы вибрации / Стандарт ассоциации «Ростехэкспертиза», ассоциации нефтехимиков и нефтепереработчиков и НПС РИСКОМ, согласованный Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору РФ письмом № 11-16/219 от 01.02.2005 // СА 03-001-05. Сер. 03. – М.: Химическая техника, 2005. – 24 с.
4. Системы мониторинга агрегатов опасных производственных объектов. Общие технические требования / Стандарт ассоциации «Ростехэкспертиза», ассоциации нефтехимиков и нефтепереработчиков и НПС РИСКОМ, согласованный Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору РФ письмом № 11-16/219 от 01.02.2005 // (СА 03-002-04). Сер. 03 – М.: Химическая техника, 2005. – 42 с.
5. Малов Е. А., Бронфин И. Б., Долгопятов В. Н. и др. Внедрение систем КОМПАКС – обеспечение безаварийной работы непрерывных производств. – Безопасность труда в промышленности. 1994. № 8. С. 19–22.
6. Шаталов А. А., Сердюк Ф. И., Костюков В. Н. и др. Безаварийность производства – путь к повышению рентабельности. Внедрение систем мониторинга КОМПАКС® – Химия и технология топлив и масел. 2000. № 3. С. 9–13.
7. Костюков В. Н., Бойченко С. Н., Костюков А. В. и др. Система мониторинга состояния оборудования КОМПАКС для колесопрокатного стана. – Сталь. 2008. С. 58–63.
8. Сизов С. В., Аристов В. П., Костюков В. Н., Костюков А. В. Непрерывный мониторинг состояния мотор-вагонного подвижного состава. – Железнодорожный транспорт. 2008. № 6. С. 41–42.
9. Kostyukov V.N. Condition monitoring of the equipment in real-time technology of safe-save maintenance of the XXI century. – In: The Fifth Internat. Conf. on Condition Monitoring and Machinery Failure Prevention Technologies / CM 2008/MFPT 2008/15-18 July, 2008, Edinburgh, Scotland, UK. – British Inst. NDT & Coxmoor Publishing Co., p. 785–793.
10. Центробежные электроприводные насосные и компрессорные агрегаты, оснащаемые системами компьютерного мониторинга для предупреждения аварий и контроля технического состояния типа КОМПАКС®. Эксплуатационные нормы вибрации / РД, 1994.

Статья получена 31 августа 2008 г.

**ЖИТЬ СТАЛО ЛЕГЧЕ, ЖИТЬ СТАЛО ВЕСЕЛЕЙ**

# **RПД 180**

**более легкий моноблок**

**Серия рентгеновских аппаратов постоянного потенциала «РПД-180»:**

- «РПД-180» (с боковым выходом излучения);
- «РПД-180П» (с панорамным выходом излучения).

Предусмотрен вариант исполнения «С» для работы в особо тяжелых климатических условиях, в т. ч. Крайнего Севера.

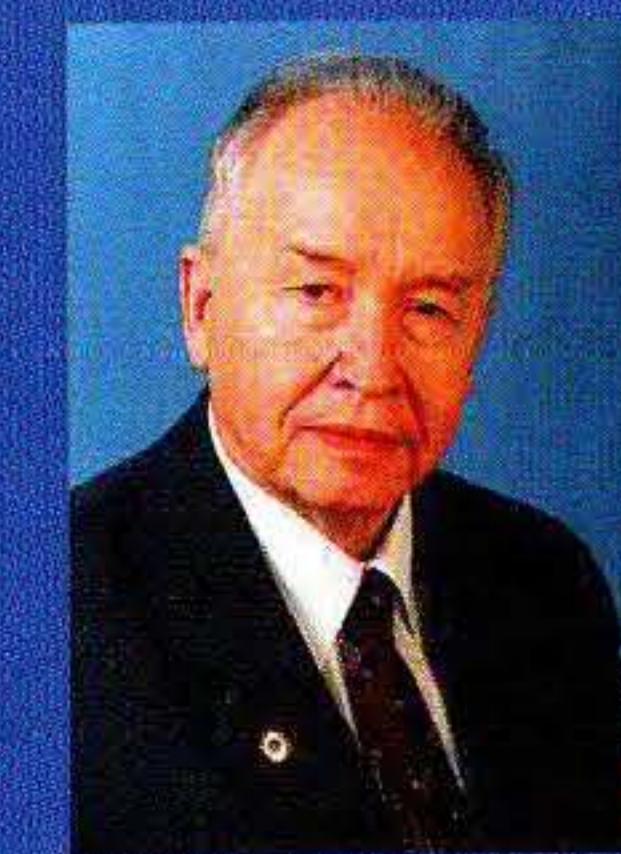
**Технические характеристики:**

- масса моноблока 14 кг
- анодное напряжение: 50 ÷ 180 кВ
- анодный ток: 0,5 ÷ 3,0 мА
- максимальная анодная мощность 400 Вт

**ЗАО «Синтез НДТ»**  
 195220, Санкт-Петербург, а/я 165  
 тел.: (812) 448-18-49, 448-18-46  
 факс: (812) 448-18-49, 448-18-45  
 e-mail: ns@ndt.net.ru www.unitest.com.ru

на правах рекламы

## КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА



Уважаемые  
коллеги и друзья!

Редколлегия и редакция журнала поздравляют Вас с новым 2009 годом, годом Быка! По гороскопу это год плодотворного, но упорного труда и тяжелых раздумий (очевидно, в области НК).

В ушедшем 2008 г. журналу исполнилось 10 лет! Осмыслить и оценить итоги десятилетия, разработать стратегию дальнейшего повышения эффективности журнала – задача его редколлегии, редакции и учредителей (ЗАО «Свен») в течение первого квартала предстоящего года.

Год 2009 будет, как и прежние, насыщен «дефектоскопическими» мероприятиями: в марте – конференция и выставка «НК в промышленности» (Москва), в мае – юбилейная 20-я конференция «Ультразвуковая дефектоскопия металлоконструкций - 2009» (Санкт-Петербург), в сентябре – юбилейная 10-я выставка «Дефектоскопия – 2009» (Санкт-Петербург).

Ходят «ультраслухи», что предвидится кризис. Полагаю, что активное участие в работе журнала, в конференциях, семинарах, выставках, проводимых в России и нашими коллегами в Беларуси, Молдавии, Украине, Литве и в других государствах, можно рассматривать как антикризисные меры. Особо желаем благополучия, процветания и неразрушающего здоровья нашим спонсорам и рекламодателям.

До встречи,  
Ваш (уже 11-й год)

А. К. Гурвич

## НК строительных объектов

К. И. Ерёмин, С. А. Матвеюшин. Особенности экспертизы и НК металлических конструкций эксплуатируемых сооружений .....	4
А. А. Самокутов, В. Г. Шевалдыкин. «Акустография» бетона: невиртуальная реальность .....	8
С. Н. Савин, И. В. Ситников, И. Л. Данилов. Современные методы технической диагностики и мониторинга как средство безопасной эксплуатации строительных конструкций .....	14
В. Г. Штенгель, Л. С. Хотулёва. III Международная конференция «Предотвращение аварий зданий и сооружений» .....	20

## События в мире НК

М. Я. Грудский. Школы-семинары: «Сертификация в области неразрушающего контроля – 2008»; «Определение напряженно-деформированного состояния и оценка остаточного ресурса технических устройств и сооружений» .....	22
С. Г. Сажин. XVIII Всероссийская научно-техническая конференция «Неразрушающий контроль и техническая диагностика» .....	23
Н. А. Харченко. З-я Ежегодная конференция «Неразрушающий контроль нового поколения» ....	26
А. Э. Маркова. Кишиневской фирме «РДМ» – 15 лет .....	26
С. А. Попудина. Белорусская Ассоциация НК и ТД – 15 лет в мире неразрушающего контроля	27
Л. С. Хотулёва. IX Международная выставка «Дефектоскопия» в Томске .....	29

## Тепловой контроль

В. П. Вавилов. Тепловой контроль композиционных материалов .....	32
--	----

## Комплексный мониторинг

В. С. Костюков. Системы комплексного мониторинга состояния оборудования в реальном времени	42
В. А. Барат, А. В. Алякритский. Метод статистической обработки данных акустико-эмиссионного мониторинга на примере реактора гидроочистки Мозырского НПЗ .....	52

## Ультразвуковой контроль

Ю. С. Петронюк. Об ультразвуковой микроскопии .....	58
В. С. Чернов, Г. Я. Безлюдько, В. Е. Долбня, С. М. Удовенко. Контроль чугунных отливок на Заволжском моторном заводе прибором УТ-04 ЭМА (Дельта) .....	62
С. Р. Цомук, А. Л. Дамаскин. Разработка и опыт применения системы механизированного УЗК крупногабаритных алюминиевых изделий .....	66

## Рефераты статей

М. В. Розина. Рефераты статей в научной периодике .....	72
---	----

## НК на железнодорожном транспорте

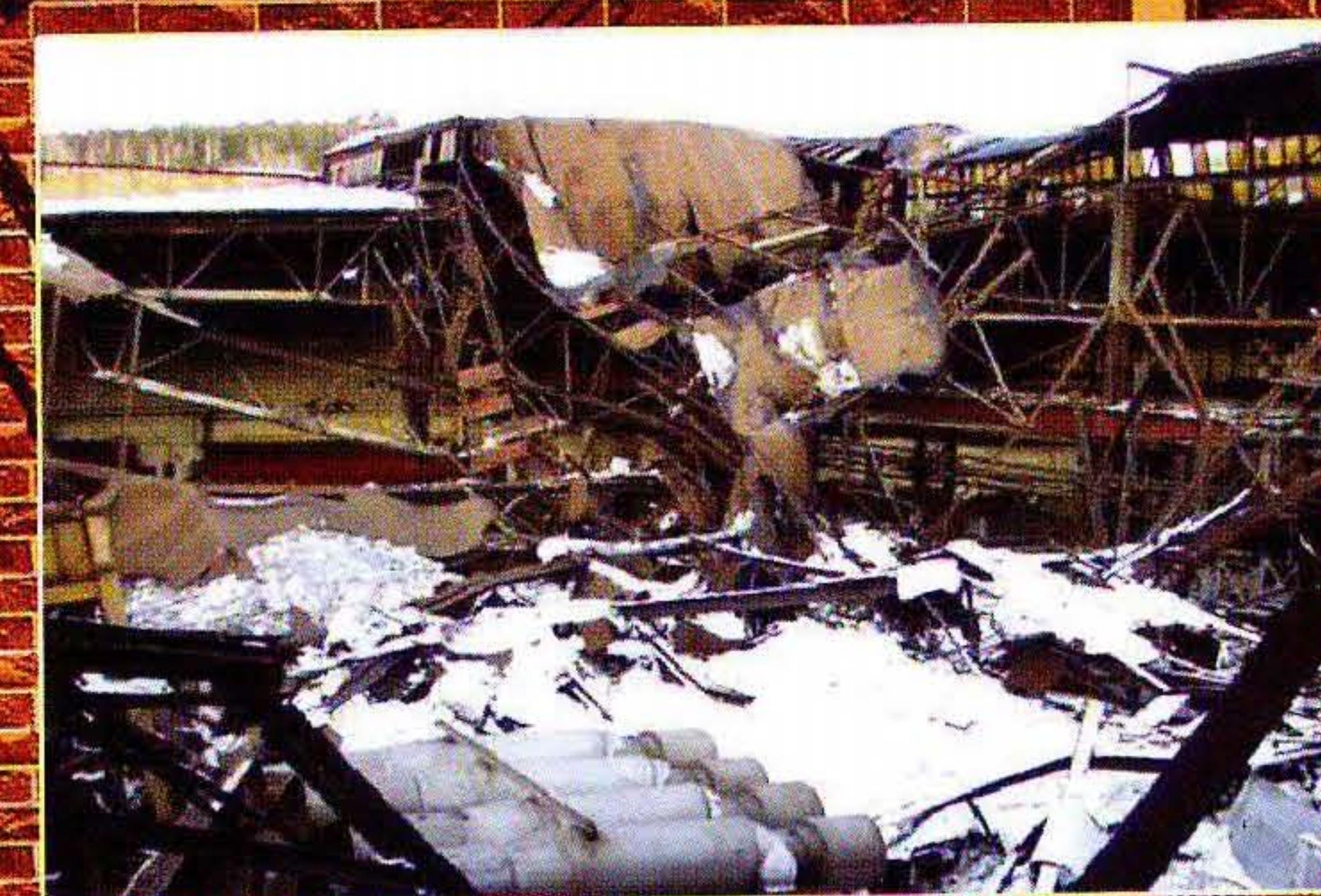
А. В. Кушнарев, В. В. Прокопьев. Организация вторичного УЗК рельсов .....	76
Н. Д. Шведко. Предложения по повышению качества контроля рельсов .....	78

### Тематический план журнала на 2009 год:

тема номера	срок подачи материалов
№ 1(43), март – «Контроль металлоконструкций»	15 февраля
№ 2(44), июнь – «Течеискание»	15 мая
№ 3(45), сентябрь – «Цифровая радиография»	20 июля
№ 4(46), декабрь – «НК трубопроводов»	15 ноября

# ВІДОМОСТІ ІНДУСТРІІ І ПІДПІДІ ІЗДЕРЖКА І МІРІ

ЕЖЕКВАРТАЛЬНОЕ ЖУРНАЛЬНОЕ ОБЗРЕНИЕ  
**№ 4(42) ДЕКАБРЬ 2008**



Тема номера:  
НК СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ



ЕЖЕКВАРТАЛЬНОЕ ЖУРНАЛЬНОЕ ОБЗРЕНИЕ  
**№ 4(42) ДЕКАБРЬ 2008**