

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ И ОПЕРАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПАСНЫХ НЕПРЕРЫВНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

*Махутов Н.А. (РАН), Костюков В.Н., Костюков Ан.В.
(НПЦ «Динамика»), г. Омск, Россия*

Фундаментальные исследования, выполненные на рубеже веков, привели к разработке принципиально нового класса исполнительных производственных систем (MES-system) – автоматизированных систем управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования (АСУ БЭР) непрерывных производств КОМПАКС[®], которые одобрены и рекомендованы к широкому внедрению Минтопэнерго и Ростехнадзором страны. Эти системы охватывают все ответственное оборудование предприятий, определяющее его главные технико-экономические показатели и внедрены в крупнейших компаниях страны: Газпром, Газпром-нефть, Лукойл, Роснефть, ТНК-ВР, горной (АК Алроса, ОАО Уралкалий) и металлургической промышленности (Объединенная металлургическая компания, Магнитогорский металлургический комбинат), ОАО РЖД, жилищно-коммунальном хозяйстве, машиностроении и других отраслях.

Мировая новизна и высокая практическая ценность этих работ отмечены премией Правительства России в области науки и техники. Особенностью систем КОМПАКС[®], обеспечивающей их широкое применение, является то, что они ориентированы на низовой исполнительный персонал, работающий непосредственно с оборудованием, определяющим как безопасность, так и технико-экономические показатели производства. В этих системах все этапы – измерения, постановки диагноза, доведения его до персонала и руководства, управляющего производственным комплексом, контроля реализации диагностических предписаний – осу-

ществляются автоматически в реальном времени развития неисправностей сотен единиц оборудования, подключенных к системе. Высокая достоверность диагностирования, которая подтверждается каждый раз после остановки и разборки агрегата персоналом вследствие предупреждения системы, является источником исключения аварий и потерь, роста межремонтного пробега в несколько раз при полном использовании ресурса оборудования, снижения всех видов издержек, существенного ускорения ввода в эксплуатацию новых производств.

С другой стороны, в условиях ограниченности финансовых ресурсов перед предприятиями остро стоит задача поиска путей рационализации всех направлений деятельности с целью получения максимально возможного результата при минимальных издержках. В решении этой задачи эксплуатация и ремонт оборудования играют на промышленных предприятиях ведущую роль. Повышение производительности труда основного и вспомогательного персонала, безопасности и операционной эффективности производства имеет определяющее значение, т.к. отсутствуют резервы, обусловленные ростом цен на продукцию и расширением рынков сбыта.

Операционная эффективность непрерывных производств в наибольшей степени определяется объемом затрат материальных и трудовых ресурсов на ремонт оборудования и объемом потерь от аварий и простоев. Не все ресурсы предприятия оборачиваются с одинаковой скоростью – трудовые ресурсы при повременной системе оплаты труда потребляются равномерно в течение времени, а при сдельной – по мере выпуска готовой продукции и так же как сырье и энергия, полностью потребляются в процессе производства за один оборот, другие, например, оборудование, потребляются частично, причем в большинстве случаев неравномерно, а скорость их потребления в значительной степени определяется адекватностью воздействия на них производст-

венного и обслуживающего персонала. Объем переменных издержек определяется, прежде всего, технологией производства, которая без коренной модернизации и значительных инвестиций акционеров существенно изменена быть не может, а постоянные издержки предприятия обусловлены его организационной структурой, предписанной материнской компанией, именно поэтому ресурсы, потребляемые в зависимости от ситуации необходимо выделять и учитывать отдельно.

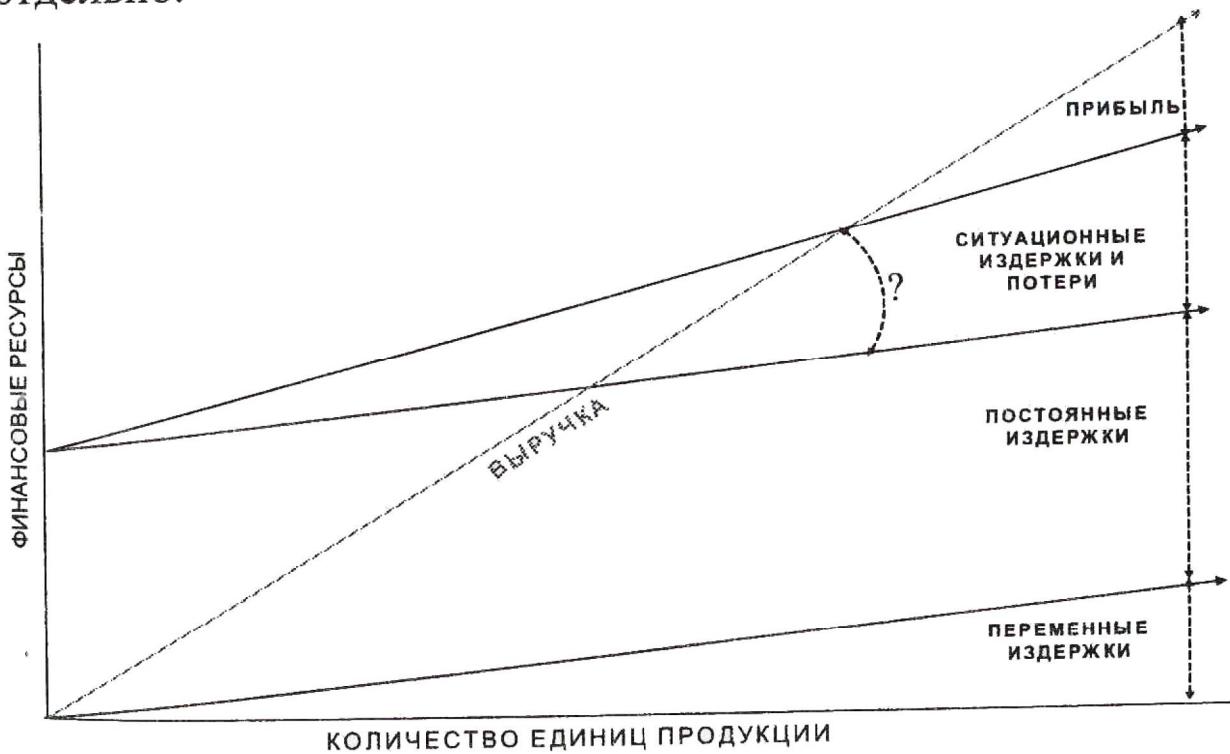


Рис. 1. Влияние ситуационных издержек и потерь на операционную эффективность НПЗ

Это обусловлено рядом причин – во-первых, ситуационные издержки носят существенный характер и включение их в состав постоянных или переменных издержек внесет несоответствие в систему управленческого учета. Во-вторых, они наблюдаемы и измеряемы, а значит, подлежат управлению наряду с постоянными и переменными издержками. В-третьих, ситуационные издержки близки по экономическому смыслу к потерям и, часто неотделимы от них. На рис.1 их объем соответствует $\text{tg } \alpha$ и объясняется тем, что непосредст-

венно расходы материальных и трудовых ресурсов на ремонт и устранение последствий аварий повышают переменные издержки, а потери при простоях оборудования повышают постоянные издержки непрерывных производств.

Рост ситуационных издержек обусловлен повышением скорости расходования материальных и трудовых ресурсов вследствие отсутствия своевременной и целенаправленной реакции персонала на повышение скорости износа оборудования из-за низкой наблюдаемости факторов воздействия в условиях априорной неопределенности (Рис.2).

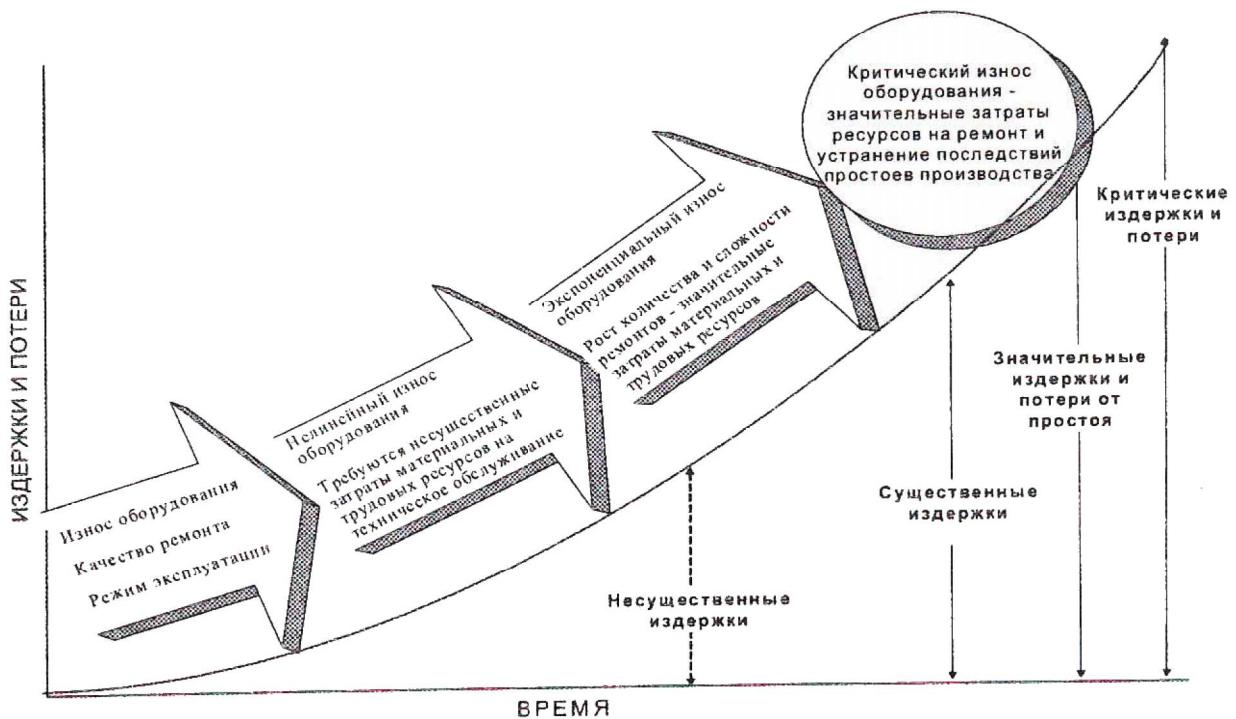


Рис. 2. Причинно-следственная связь роста ситуационных издержек в зависимости от степени наблюдаемости состояния оборудования и действий персонала

Сущность технического менеджмента опасных непрерывных производств состоит в своевременном выявлении и целенаправленном воздействии на факторы снижения скорости расходования материальных и трудовых ресурсов при эксплуатации оборудования, что обеспечивается внедрением систем мониторинга состояния оборудования и эффективности действий персонала в реальном времени.

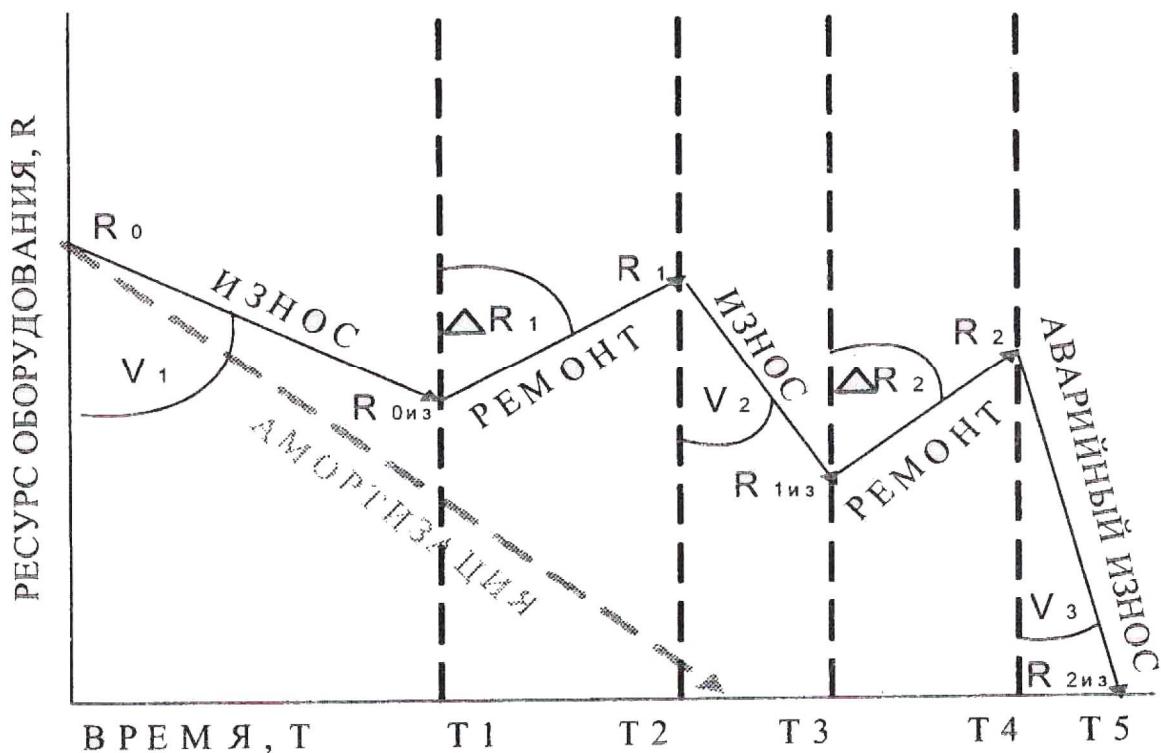


Рис. 3. Амортизация и износ оборудования в условиях эксплуатации:
 R_0 – ресурс нового оборудования; R_{0iz} – остаточный ресурс изношенного оборудования; R_1 – остаточный ресурс восстановленного оборудования (после первого ремонта); R_{1iz} – остаточный ресурс оборудования перед вторым ремонтом; R_2 – остаточный ресурс восстановленного оборудования (после второго ремонта); R_{2iz} – близкий у «0» остаточный ресурс разрушенного в ходе неправильной эксплуатации оборудования; $V_1 = (R_0 - R_{0iz}) / T1$, $V_2 = (R_1 - R_{1iz}) / (T3 - T2)$, $V_3 = (R_2 - R_{2iz}) / (T5 - T4)$ – скорости утраты работоспособности и потеря ресурса оборудования на соответствующих этапах эксплуатации

Эксплуатация оборудования происходит в условиях разных скоростей его износа (Рис. 3), скорости потерь ресурсов $V_1 < V_2 < V_3$), что обуславливается рядом факторов, основными из которых являются воздействия (бездействие) основного и вспомогательного персонала и низкая степень технической готовности оборудования, обусловленная плохой наблюдаемостью его фактического технического состояния в процессе эксплуатации. Чем выше квалификация персонала, степень его мотивации и уровень применяемых на производстве систем мониторинга, тем большее внимания

ние персонал уделяет вопросам снижения скорости износа основных производственных фондов, что обеспечивает исключение аварий и более высокую продолжительность межремонтного периода эксплуатации оборудования и производства в целом. С другой стороны повышается и результативность ремонта, которая выражена на рис.3 ($\Delta R_1 < \Delta R_2$) в виде объема ресурса, добавляемого в единицу времени в период ремонта оборудования.

Фундаментальными причинами высоких затрат и потерь на опасных непрерывных производствах являются плохая наблюдаемость, затрудненная управляемость и, вследствие этого, низкая устойчивость производственных процессов, что обусловлено:

- скрытым характером зарождения и развития неисправностей в оборудовании, а так же плохой наблюдаемостью реальных процессов деградации оборудования на протяжении его жизненного цикла;
- трудностью выявления скрытых ошибок проектирования, монтажа и эксплуатации технологических установок и субъективностью оценки качества агрегатов и их узлов при производстве, ремонте и в эксплуатации;
- отрицательным влиянием «человеческого фактора» вкупе с неоперативностью контроля действий персонала по поддержанию работоспособности оборудования и ведению технологического процесса;
- крайне низкой эффективностью внеплановых и планово-предупредительных ремонтов, опирающихся на уровень науки 50-х годов XX века.

В этих условиях техническое руководство предприятий не в состоянии однозначно определить адекватность действий персонала и проведенных им компенсирующих мероприятий, ведь тотальный процессуальный контроль физически невозможен, а контроль результатов прошлой деятельности малоэффективен, ведь результаты, особенно, если они отрицательные, уже получены. С другой стороны, и персо-

нал, который пытается активно участвовать в повышении безопасности и эффективности производства, предлагая различные решения существующих, по его мнению, проблем, включая и известные руководству, зачастую наталкивается на противодействие, связанное с недоверием, как по причине отсутствия объективных доказательств возможности положительного результата от предлагаемых мероприятий, так и по субъективным причинам. Ряд показателей, отражающих существующее положение дел в этой области, приведен в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительные показатели, характеризующие результативность эксплуатации технологических комплексов НПЗ

№	Наименование показателя	Лучшие мировые показатели*	В среднем по НПЗ России **	Комплекс *** «Ароматика» Омский НПЗ
1	Доля затрат на ремонт из всех затрат производства	< 15 %	28 %	14,9 %
2	Доля затрат на материалы из всех затрат производства	< 3 %	5 %	0,6 %
3	Планируемые ремонты	> 85 %	50 %	100 %
4	Ремонты после отказа оборудования	< 15 %	50 %	0,0 %
5	Продолжительность работы производства в году	> 97%	85 %	99 %

* по данным сайта www.maintenancebenchmarking.com

** из докладов конференции “Современный НПЗ: задачи модернизации” г. Москва, 25-26.11.2008 г.

*** После перехода к управлению безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования на основе систем КОМПАКС®

Достоверность информации в системе управления существенно определяется ее объективностью, то есть независимостью, от воли, желаний и соображений конкретных людей, отвечающих за эксплуатацию, ремонт, модернизацию оборудования и производства. Только на основе информации надлежащего качества, (достоверной, полученной своевременно и в необходимом количестве) можно принять и реализовать наиболее адекватные решения. Сегодня на большинстве предприятий контроль эффективности работы ремонтной службы в целом и ее подразделений осуществляется, с одной стороны, посредством проверки соответствия расходов по номенклатуре и стоимости статьям утвержденного бюджета, а с другой, по количеству аварий и инцидентов, вызванных пропуском отказов оборудования и обуславивших ситуационные потери оборудования или простой производства. Однако, на ведущих предприятиях отрасли уже перешли к наблюдению взаимодействия элементов производственной системы путем внедрения систем мониторинга в реальном времени, что позволяет влиять на факторы достижения результата. Благодаря мониторингу состояния оборудования появляется возможность объективной идентификации не только качества работы персонала, но и количества выполненных работ.

В настоящее время существует множество измерительных систем, регистрирующих измеренные параметры и представляющие результаты измерений технологическому персоналу. Все такие системы в большинстве случаев называют системами мониторинга, однако, данное понятие требует уточнения, т.к. все системы мониторинга обладают ошибкой. Статическая ошибка мониторинга – пропуск своевременного распознавания опасного состояния оборудования, вызванный тем, что опасное состояние диагностируется как удовлетворительное. Динамическая ошибка мониторинга – пропуск своевременного распознавания опасного состояния оборудования, вызванный тем, что период

мониторинга превышает интервал развития опасного состояния от момента его обнаружения до предельного состояния. Совокупная ошибка системы мониторинга и определяет ее эффективность по предупреждению аварий и своевременному определению состояния оборудования для снижения эксплуатационных затрат и потерь.

Мониторинг состояния – наблюдение за процессом изменения состояния оборудования с целью предупреждения персонала о достижении им предельного состояния на неразрывно примыкающих друг к другу интервалах времени, в течение которых состояние оборудования существенно не меняется. Наличие интерпретации «причина (дефект) – следствие (параметр)» соответствует мониторингу состояния, а отсутствие – мониторингу параметров. Таким образом, системы, ведущие лишь мониторинг параметров, потребность в интерпретации которых определяет высокую интегральную ошибку таковых, не обеспечивают возможность повысить безопасность и операционную эффективность оборудования и производства. Напротив, системы мониторинга состояния оборудования, обладающие встроенной автоматической экспертной системой с почти нулевой ошибкой диагностики – единственное средство достижения данной цели.

Важнейшим фактором, определяющим надежность мониторинга, является представление и хранение результатов мониторинга в едином информационном пространстве, что обеспечивается путем стандартизации номенклатуры, формата и представления результатов мониторинга.

Системы комплексного мониторинга КОМПАКС предназначены для обеспечения безопасной ресурсосберегающей эксплуатации оборудования опасных производственных объектов (ОПО) путем получения в реальном времени оперативной информации о прошлом, текущем и прогнозируемом техническом состоянии оборудования ОПО, которая используется в системе принятия решений по:

- контролю и оценке технического состояния оборудования при приемочных испытаниях и в процессе эксплуатации различными видами (методами) неразрушающего контроля (виброакустический, акустико-эмиссионный, тепловизионный, частичных разрядов и др.);
- выявлению дефектных узлов оборудования и причин возникновения дефектов и неисправностей;
- ведению технологического режима объекта мониторинга (ОМ) с учетом его технического состояния;
- необходимости регулирования параметров технологического процесса для минимизации деструктивных нагрузок, действующих на ОМ, с целью обеспечения максимального ресурса безопасной эксплуатации оборудования ОПО;
- изменению периодичности проведения регламентных работ (для оборудования находящегося в эксплуатации);
- эксплуатации оборудования ОПО по фактическому состоянию, подразумевающей, что объемы и содержание штатных периодических осмотров и обследований объектов, снабженных системами комплексного мониторинга, могут быть изменены;
- условиям дальнейшей эксплуатации оборудования ОПО сверх нормативного срока эксплуатации.

Высокая эффективность таких систем достигнута в ходе многолетних фундаментальных исследований, в результате которых удалось создать системы распознавания основных классов дефектов оборудования с близкой к нулю, не превышающей единиц процентов, ошибкой диагностики.

Стационарная система мониторинга состояния оборудования КОМПАКС[®] предназначена для обеспечения безопасной экологически чистой ресурсосберегающей эксплуатации оборудования взрывопожароопасных производств, предупреждения аварий, производственных неполадок и управления техническим состоянием оборудования путем непрерывного компьютерного мониторинга. Система обеспечивает автоматическую диагностику, мониторинг и про-

гноз технического состояния с выдачей предписаний по ближайшим неотложным действиям с оборудованием персоналу в операторную установки и автоматический контроль исполнения выданных предписаний, с представлением данной информации руководству предприятия посредством диагностической сети.

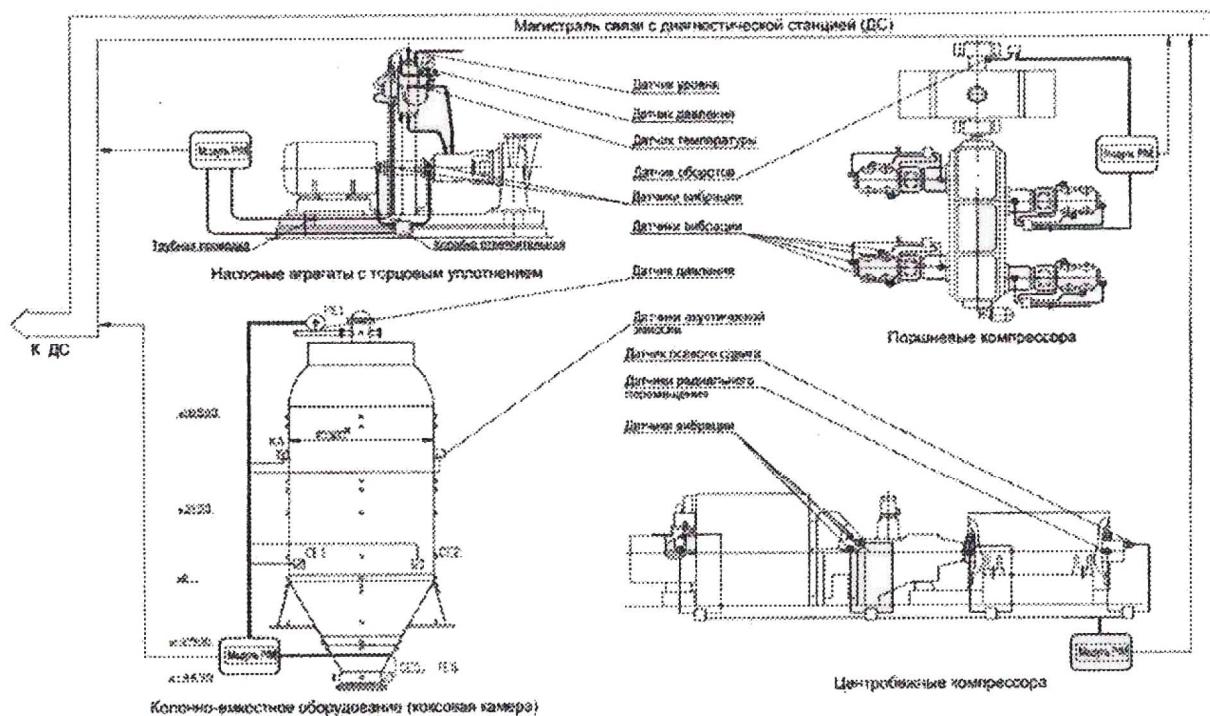


Рис. 4. Автоматическая диагностика и мониторинг состояния всего оборудования на единой программно-аппаратной платформе системы КОМПАКС®.

Система КОМПАКС имеет распределенную структуру (Рис. 4) и в автоматическом режиме производит оценку технического состояния машинного (динамического) и колонно-емкостного (статического) оборудования, по параметрам вибрации, акустической эмиссии, температуры, потребляемому току и др., обеспечивая визуальное отображение текущего технического состояния цветовыми пиктограммами: зеленый цвет – «Допустимо», желтый – «Требует принятия мер», красный – «Недопустимо» (Рис.5). Система выдает предупреждение персоналу посредством речевого сообще-

ния и рекомендаций по ближайшим неотложным действиям, которые необходимо провести для обеспечения безаварийной эксплуатации оборудования. Все измеряемые системой параметры накапливаются в базах данных за различные временные интервалы – от 12 часов до 9 лет (12 часов, 4 и 40 суток, 1 год и 9 лет).

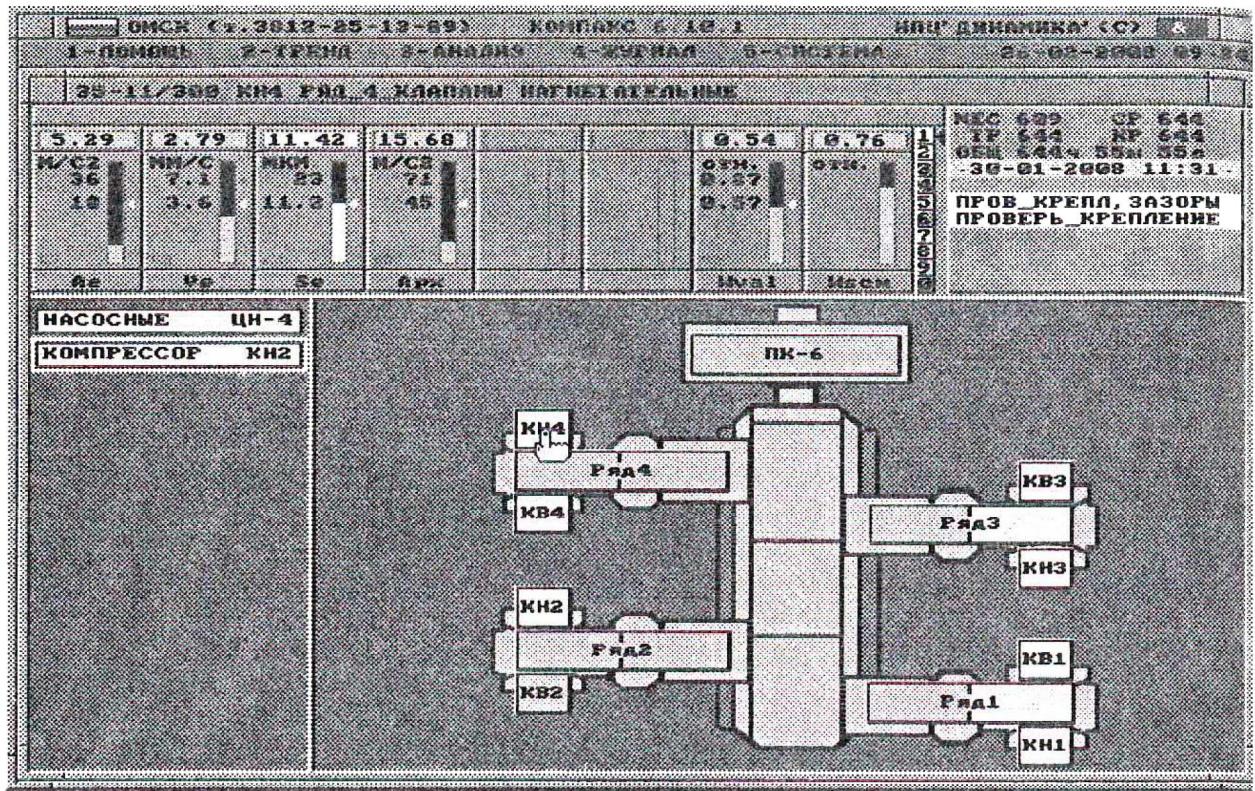


Рис. 5. Мониторинг поршневого компрессора системой КОМПАКС®

Оснащение оборудования многих предприятий стационарной системой КОМПАКС позволило устраниить аварии и исключить, так называемые, «внезапные» отказы. Система КОМПАКС обеспечивает надежное диагностирование дефектов разнообразного оборудования, в частности в насосных агрегатах система безошибочно в автоматическом режиме определяет дефекты внутренней и внешней обоймы, сепаратора и тел качения подшипника, послабление посадки и увеличенный зазор подшипника, пережатые подшипники и перекос подшипниковых щитов, касание ротором статора

электродвигателя, дефект обмоток статора (перекос фаз), дисбаланс и расцентровку агрегатов, нарушение их крепления к фундаментам и присоединенным конструкциям и многие другие. Проведенный анализ статистики отказов показал, что на оснащенном системой оборудования более чем в 12 раз снизилось число внезапных для персонала отказов, более чем в 4 раза сократилось количество ремонтных работ. Произошло качественное перераспределение объемов ремонтов от капитальных и средних в сторону текущих ремонтов и текущего обслуживания, что подтверждено многочисленными публикациями в открытой печати.



**НАУЧНО-ПРОМЫШЛЕННЫЙ СОЮЗ
«УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ, ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ,
КОНТРОЛЬ И МОНИТОРИНГ»
(Научно-промышленный союз «РИСКОМ»)**

**ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ им. БЛАГОНРАВОВА,
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
("ИМАШ" РАН)**

**Научно-практическая конференция
“Мониторинг и управление рисками в
промышленности. Проблемы диагностики
и неразрушающего контроля”.**

Сборник материалов

02-06 ноября 2009 года