

УДК 62-799

## РОЛЬ ПЕРВИЧНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ЭФФЕКТИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Редников С.Н.

*ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет  
(Национальный исследовательский университет)», Челябинск, e-mail: srednikov@mail.ru*

В статье представлен анализ подходов к диагностике металлургического оборудования. Выявлены достоинства и недостатки существующего подхода к оценке состояния оборудования. Оценены зоны применимости методики комбинированной первичной диагностики металлургического оборудования. Подробно рассмотрены вопросы оценки остаточного ресурса новой техники при отсутствии данных по функциональным отказам на основе анализа изменения параметров состояния, выявляемых в рамках комплексного подхода, с построением регрессионных зависимостей, прогнозирующих изменения контролируемых параметров. Приведён алгоритм первичного метода оценки состояния оборудования с учётом минимизации стоимости и временных затрат на основе оценки реакции системы на воздействие и анализа термограмм изменения состояния объекта. Приводятся основы нахождения объёмного распределения температур путём математического моделирования, с использованием в качестве граничных условий снимаемых термограмм поверхности. Приведены результаты обследования, выявившего особенности отказов металлургических систем при использовании методик диагностирования с использованием комбинированного подхода к анализу состояния агрегатов различного назначения и принципа действия. Рассмотрены результаты использования методов предварительной диагностики. Дана сравнительная оценка эффективности процесса диагностирования оборудования с учётом комбинированного подхода к анализу состояния оборудования. Даны рекомендации по организации первичного диагностирования агрегатов персоналом на уровне участка – цех.

**Ключевые слова:** диагностика, виброакустика, тепловизионный метод

## THE ROLE OF PRIMARY DIAGNOSTICS OF METALLURGICAL UNITS IN ENSURING EFFICIENT OPERATION IN PRODUCTION

Rednikov S.N.

*South Ural State University, Chelyabinsk, e-mail: srednikov@mail.ru*

The article presents an analysis of approaches to the diagnosis of metallurgical equipment. The advantages and disadvantages of the existing approach to assessing the condition of the equipment are revealed. The zones of applicability of the method of combined primary diagnostics of metallurgical equipment are evaluated. The issues of estimating the residual resource of new equipment in the absence of data on functional failures are considered in detail based on the analysis of changes in the state parameters detected within the framework of an integrated approach with the construction of regression dependencies predicting changes in controlled parameters. The algorithm of the primary method of assessing the condition of the equipment is given, taking into account the minimization of cost and time costs based on the assessment of the system's response to the impact and the analysis of thermograms of changes in the state of the object. The basics of finding the volumetric temperature distribution by mathematical modeling, using the surface thermograms taken as boundary conditions, are given. The results of the survey that revealed the features of failures of metallurgical systems when using diagnostic techniques using a combined approach to the analysis of the state of aggregates for various purposes and the principle of operation are presented. The results of using the methods of preliminary diagnostics are considered. A comparative assessment of the effectiveness of the equipment diagnostics process is given, taking into account the combined approach to the analysis of the equipment condition. Recommendations are given on the organization of primary diagnostics of aggregates by personnel at the site workshop level.

**Keywords:** vibrio diagnostic, thermal equipment, diagnostic measures

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что внедрение средств диагностирования, позволяющих выбирать приёмы и методы обслуживания исходя из реального состояния агрегатов, является одним из важнейших факторов повышения экономической эффективности использования оборудования в промышленности. Назначение диагностики – выявление и предупреждение отказов и неисправностей, поддержание эксплуатационных показателей в установленных пределах, прогнозирование состояния в целях полного исполь-

зования до ремонтного и межремонтного ресурса.

Важность контроля состояния оборудования методами неразрушающего контроля и диагностики давно признана на подавляющем большинстве металлургических предприятий. Но сложившееся традиционное разделение сфер ответственности между различными службами предприятия, осуществляющими ремонт и техническое обслуживание того или иного технологического оборудования или элементов этого оборудования, часто усложняет процесс

оценки реального состояния объекта в целом. Как правило, на большинстве крупных предприятий сформированы собственные службы диагностики и оценки вероятности отказов. На ряде предприятий такие службы оснащены дорогостоящим комплексом оборудования, позволяющим осуществлять оценку состояния как механического, так и электрического, так и теплоэнергетического оборудования и другого оборудования заводов. Заводское оборудование разделено на категории. Ключевое оборудование контролируется централизованной службой, неключевое диагностируется по заявкам цехов или не диагностируется вовсе, работая на отказ. Диагностирование неключевого оборудования возлагается на цеховые службы, имеющие оснащённость диагностическим оборудованием на уровне 30-х гг. или работающих только органолептическими методами. В то же время диагностирование на уровне «участок, цех» при грамотном подходе способно выявлять и предотвращать значительную долю отказов. Не всегда целесообразно оснащать каждую такую службу собственным диагностическим набором дорогостоящего оборудования. Одним из способов повышения эффективности технического обслуживания оборудования в этих условиях является оснащение структурных подразделений в рамках крупных предприятий недорогим оборудованием, доверив им анализ качества работы оборудования, решение диагностических задач и выявление причин потери ресурса оборудования путем комплексной диагностики с первоначальным акцентом на упреждающее техническое обслуживание.

Не менее важной задачей является оптимизация поставок запасных частей на уровне «цех, участок». Традиционный подход с анализом статистики уже произошедших функциональных отказов неэффективен на новом, впервые применяемом оборудовании при отсутствии отказов. Метод экспертных оценок при наличии принципиально нового оборудования, впервые используемого в производстве, также не информативен. Одним из наиболее эффективных методов в этом отношении является метод оценки остаточного ресурса путем отслеживания диагностируемых параметров системы. Упреждающее техническое обслуживание оборудования с оценкой остаточного ресурса на основе анализа изменений функциональных параметров, позволяет проводить выполнение только необходимых ремонтных действий, направленных на снижение темпов развития или устранение неисправностей, которые выявляются на основе ин-

формации о фактическом техническом состоянии оборудования.

Совершенствование металлургического оборудования требует снижения затрат на эксплуатацию и ремонт комплексов. Эта задача может быть достигнута при наличии информации о текущем состоянии оборудования и достоверном определении остаточного ресурса. Важно проводить диагностические мероприятия без остановки оборудования и перевода его в тестовый режим. Достижимые цели: оптимизация затрат на техническое обслуживание и ремонт основного технологического оборудования; увеличение срока службы основного технологического оборудования; снижение вероятности сбоев; выполнение только необходимых ремонтных работ; сокращение общего объема необходимых технических услуг; энергосбережение.

#### *Подход к решению*

На большинстве предприятий металлургической отрасли организовали собственные службы диагностики или пользуются услугами сторонних организаций [1–3]. Как правило, диагносты специализируются на определенных методах оценки состояния оборудования или на диагностике определенных видов оборудования.

Наиболее часто применяются: вибродиагностика (VD); ультразвуковой неразрушающий контроль; визуальный контроль измерений (VIC); капиллярный метод неразрушающего контроля; магнитно-порошковый метод; рентгеновский контроль; контроль термограмм поверхности оборудования (ТС); контроль пульсаций давления (в случае гидравлического оборудования); мониторинг состояния рабочих жидкостей и смазочных материалов [4–6].

Эти методы зарекомендовали себя как надежные источники информации о текущем техническом состоянии оборудования, агрегатов, зданий и сооружений. Каждый из методов рекомендуется для использования на определенных типах оборудования. Но комбинированные методы контроля оборудования и методы оценки остаточного ресурса на основе результатов комплексной диагностики недостаточно развиты, и создание как оборудования для комбинированной диагностики, так и методов оценки ресурса элементов металлургического комплекса очень важно.

Комбинированный комплекс диагностики, как правило, включает в себя оборудование, позволяющее контролировать (путем взятия проб или мониторинга) состояние рабочей жидкости, ее расход, системы контроля давления и вибрации, системы опре-

деления толщины и состояния оболочек конструкций, системы контроля температурного режима, токовой нагрузки [7–9].

Опыт использования средств технической диагностики на металлургических предприятиях Российской Федерации показал высокую экономическую эффективность от их использования. Однако вопросы оптимизации организации и структурирования диагностической службы остаются весьма актуальными. На уровне «цех, участок» наиболее эффективным представляется комбинированный метод анализа состояния оборудования путём автоматизированного отслеживания времени задержки реакции систем на контрольное управляющее воздействие и периодического контроля всего технологического оборудования методами тепловизионной диагностики без разделения зон ответственности цеховых служб. При выявлении аномалий, проведение дополнительной диагностической процедуры с использованием токовой, вибрационной диагностики и методик не разрушающего контроля. Алгоритм предлагаемых процедур представлен на рис. 1. При необходимости углублённой диагностики предлагается применить упрощённые методики математического моделирования распределения температур оцениваемого объекта с использованием термограмм в качестве граничных условий.

$$\begin{cases} (1-s)\rho_k c_k \frac{\partial t_k}{\partial \tau} = \alpha(T-t) + \lambda_s \left( \frac{\partial^2 t}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial t}{\partial R} \right), \\ (-s)uc_s \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha_v(T-t) \end{cases},$$

где  $R$  – текущая координата;  $R_n$  – координата границы;  $H$  – высота;  $\rho_k$  – плотность;  $c_k$  – теплоемкость;  $\alpha_v$  – приведенный коэффициент теплоотдачи;  $s$  – параметр направления теплового потока;  $\lambda_s$  – теплопроводность;  $\tau$  – время;  $c_s$  – теплоемкость газа на границе;  $k$  – коэффициент теплоотдачи;  $t$  – температура;  $u$  – скорость газа;  $t_s$  – температура среды;  $T$  – температура;  $T_s$  – граничная температура.

Поскольку интегрированный в систему управления алгоритм оценки изменения функциональных параметров позволяет оценивать состояние объекта практически непрерывно с анализом величины остаточного ресурса, контролируемого с учётом результатов диагностических мероприятий с использованием регрессионных зависимостей вида  $x(t) = vt^\alpha + \Delta x_{ст} + \Delta x_n$ , где  $x$  – диагностируемый параметр;  $v$ ,  $\alpha$  – расчётные коэффициенты;  $t$  – время;  $\Delta x_{ст}$  – допустимая ошибка диагностируемого параметра;

$\Delta x_n$  – начальное значение диагностируемого параметра. Такой подход позволяет с достаточной эффективностью выявлять до 70% функциональных отказов на этапе первичной диагностики. Проверка эффективности подхода потребовала проведения статистического исследования.

### Результаты исследования и их обсуждение

При проведении исследования анализировались следующие факторы, влияющие на интенсивность отказов оборудования: режимы функционирования, частота обслуживания, виды оборудования, квалификация эксплуатирующего и ремонтного персонала, доля выявляемых при первичной диагностике дефектов и их подтверждение при контрольном осмотре оборудования. Полученные данные статистически обрабатывались для выявления корреляций.

Распределение отказов по категориям оборудования представлено на рис. 2. Доля отказов гидравлических систем составляла 20–60% от общего числа отказов агрегатов. Значительный разбег объясняется различными поколениями обследованной техники. Значительная доля отказов гидравлического оборудования объясняется как увеличением доли гидрофицированного оборудования отрасли, так и массовым внедрением пропорциональной быстродействующей аппаратуры, требующей более требовательного обслуживания. Более чем в половине случаев отказов ресурс агрегатов не был выработан. Было зафиксировано значительное число отказов 18–35%, вызванное перегрузкой оборудования вследствие низкой квалификации персонала, а также невысоким качеством выполняемых ремонтов. Необходимо отметить, что на большинстве предприятий вводится входной контроль качества расходных материалов и запасных частей, что приводит к некоторому снижению количества внезапных отказов механического и теплотехнического оборудования после проведения ремонтов. На ряде предприятий от 20 до 30% от общих затрат приходилось на расходы, связанные с износом и отказами техники. Ежегодные затраты на запасные части составляют до 18% от стоимости основного оборудования и имеют тенденцию к возрастанию. По отдельным видам техники результаты в целом коррелировали с данными ряда исследований [10, 11].

Крайне значительна доля отказов именно приводной техники, что, безусловно, требует совершенствования методик первичной диагностики и улучшения уровня подготовки обслуживающего персонала, прежде всего ремонтников-универсалов.

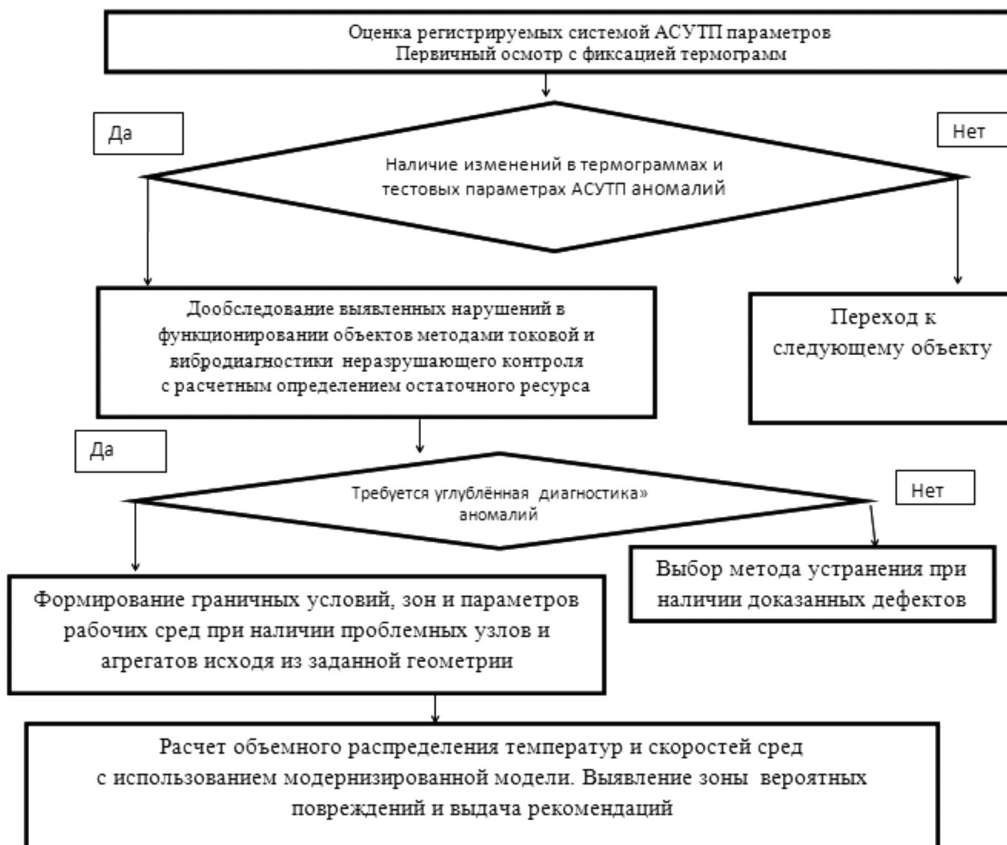


Рис. 1. Предлагаемый алгоритм первичной оценки состояния оборудования

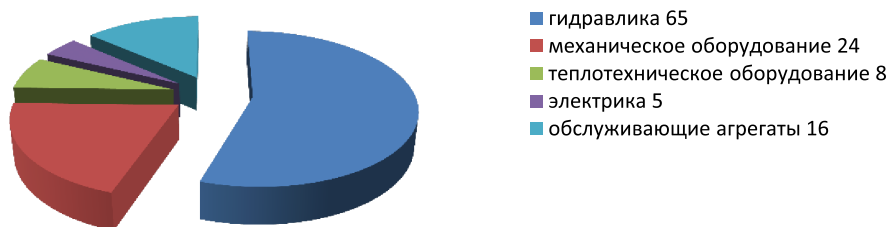


Рис. 2. Распределение отказов основного оборудования предприятий

В ходе статистических исследований проводилась сравнительная оценка различных подходов к инструментальной оценке состояния оборудования. Оценка коэффициента эффективности производилась с учётом стоимости проведения диагностических мероприятий. Объем оцениваемых работ, выполняемых в ходе диагностирования, включал анализ документации, визуально-измерительный контроль состояния агрегатов, непосредственное проведение мероприятий по оценке состояния оборудования, анализ результатов диагностирования и оценка остаточного ресурса объекта статистическими методами, подготовку тех-

нического отчёта. Анализ результатов сравнения методик диагностирования показывает двукратное сокращение необходимых временных затрат на диагностику с использованием тепловых полей по сравнению с другими видами диагностических мероприятий при более низкой стоимости диагностических мероприятий. Полученный коэффициент эффективности сравнивается с наиболее эффективным из сертифицированных методов – методом вибродиагностики (значение коэффициента эффективности 1). Результаты расчета коэффициента эффективности диагностических мероприятий показаны на рис. 3.

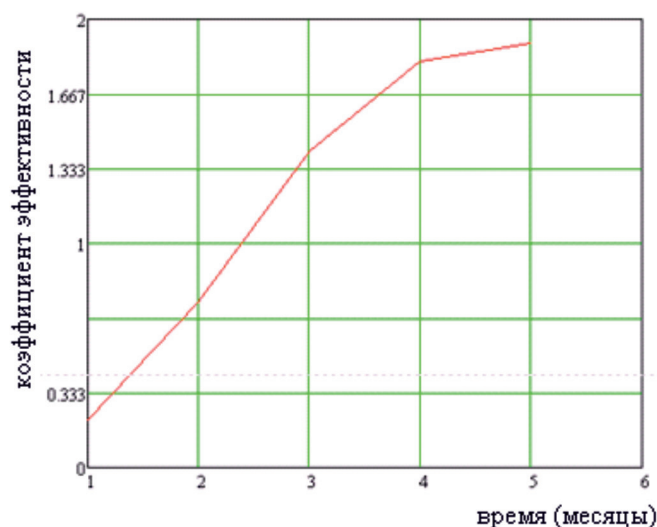


Рис. 3. Результаты расчета коэффициента эффективности диагностических мероприятий путем анализа внешних тепловых полей

### Заключение

Имея специалистов, прошедших универсальную подготовку, и комплект диагностического оборудования, позволяющего производить комплексную оценку состояния с учётом внешних тепловых полей, вибрации, токовой нагрузки, можно за короткий промежуток времени выполнить очень широкий спектр диагностических работ. В нынешней экономической ситуации предприятиям выгодно использовать этот подход, при котором одна группа людей проводит комплексное исследование тепловых и энергетических систем, что позволяет определить текущее состояние оборудования и оценить остаточный ресурс при минимальных финансовых затратах.

### Список литературы

1. Редников С.Н. Использование комбинированных методов диагностики гидравлических систем металлургических агрегатов // Проблемы черной металлургии и материаловедения. 2017. № 4. С. 94–98.
2. Rednikov S.N. Viscosity characteristics of hydrocarbons at high pressures Procedia Engineering. 2015. Т. 129. P. 839–844.

3. Rednikov S.N. Akhmedyanova E.N., Zakirov D.M. Comprehensive Diagnostics of the State of Metallurgical Equipment. Lecture Notes in Mechanical Engineering this link is disabled. 2021. P. 1205–1211.
4. Нахапетян Е.Г. Диагностирование машин. М.: «Машиностроение», 1983. 55 с.
5. Макаров Р.А. Средства технической диагностики машин. М.: «Машиностроение», 1981. 223 с.
6. Алексеева Т.В., Бабанская В.Д., Башта Т.М. Техническая диагностика гидравлических приводов. М.: «Машиностроение», 1989. 264 с.
7. Гилёв А.В., Шигин А.О., Чесноков В.Т., Белозеров И.Р. Повышение эффективности эксплуатации буровой техники на горных предприятиях: монография. Красноярск: Изд-во Сиб. федер. ун-та, 2013. 372 с.
8. Michael M. Khonsari, Mehdi Amiri «Introduction to Thermodynamics of Mechanical Fatigue» M. Michael CRC Press, 2012. P. 166.
9. Akhmedyanova E.N. Ptashkina-Girina O.S. Unsteady modes of moisture removal The Authors. Published by Elsevier Ltd-2015. P. 712.
10. Гольдюшов А.И., Яблоков А.Е. Анализ эффективности интеллектуальной системы диагностики СТМ-12Т // Актуальные научные исследования в современном мире. 2020. № 5–1 (61). С. 82–88.
11. Сорокин В.А., Вершинин О.Ю. Диагностика металлоконструкций технических устройств с применением неразрушающего контроля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 6 (19). С. 128–131.