

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ  
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМ ПРОИЗВОДСТВОМ ПУТЕМ КОМПЛЕКСНОГО  
ВНЕДРЕНИЯ РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ  
НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ВИБРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ**

*Настоящая статья посвящена рассмотрению возможности повышения экономической эффективности управления металлургическим предприятием путем внедрения современной стратегии технического обслуживания и ремонта (ТОиР) с использованием методов и средств вибрационной диагностики и балансировки. В статье представлен ряд практических примеров, иллюстрирующих экономическую составляющую подобного внедрения, предложены алгоритмы для самостоятельного расчета экономической эффективности, а также приведены рекомендации по комплексному улучшению существующей стратегии ТОиР на примере роторного оборудования основных металлургических производств.*

This paper deals with metal plants management economic efficiency increasing abilities with up-to-date maintenance and repair strategy using condition monitoring and balancing solutions. The article includes some case histories, self-dependent mathematical calculation algorithm and management economic efficiency increasing complex recommendations by means of maintenance and repair strategy improvement and optimization for primary metal facilities.

Ключевые слова:

Экономическая эффективность, расчет экономической эффективности, передовые стратегии обслуживания и ремонта оборудования, обслуживание по фактическому состоянию в металлургии, вибродиагностика, вибромониторинг и диагностика металлургического оборудования, аппаратно-программные средства вибродиагностики на прокатном производстве

Key words:

Economic efficiency, economic efficiency calculation, up-to-date maintenance and repair strategy, Predictive and Proactive Maintenances in Metal Plants, Condition Monitoring, Condition Monitoring and Faults Localization in Metal & Mining, Condition Monitoring Hardware & Software Solution For Rolling-Mill Facilities,

В последние годы в нашей стране и за рубежом на предприятиях различных отраслей промышленности самое пристальное внимание уделяется вопросам повышения эффективности управления производством. Особую остроту эти вопросы приобретают в условиях экономической нестабильности, ведь именно от их успешного решения во многом зависит конкурентоспособность предприятия на внутренних и внешних рынках. Одним из наиболее перспективных способов повышения эффективности управления производством является оптимизация затрат на техническое обслуживание и ремонт технологического оборудования путем внедрения ресурсосберегающих технологий на базе методов неразрушающего контроля. По оценкам специалистов, наибольший экономический эффект от внедрения ресурсосберегающих технологий достигается на вращающемся оборудовании [1]. Мно-

гочисленные исследования показали, что наиболее информативным методом (до 77% данных) неразрушающего контроля при оценке состояния роторного оборудования является вибрационная диагностика [2]. Рассмотрим ряд примеров, наглядно иллюстрирующих высокую экономическую эффективность внедрения методов и средств вибрационной диагностики на металлургическом производстве.

На сегодняшний день существует несколько основных подходов, позволяющих на практике оценить эффективность внедрения методов и средств вибрационной диагностики для отдельной группы либо всего парка промышленного оборудования. В общем случае, экономическая эффективность складывается из прямой и косвенной экономии. К прямой экономии можно отнести снижение затрат на ремонт оборудования, увеличение реального межремонтного периода за счет исключения необоснованных плановых ремонтов (по существующей статистике необоснованные ремонты сокращают реальный межремонтный период на 15-30 %). Кроме того, это и снижение стоимости ремонта за счет выявления дефектов, устранение которых не требует демонтажа оборудования (расцентровки и дисбалансы), а также сокращение резервного оборудования в отдельных технологических процессах и минимизация объема ремонтных работ.

По оценкам независимых экспертов, прямая экономия может привести к сокращению затрат от 2 до 10% в зависимости от типа оборудования. Косвенная экономия средств, складывается за счет снижения расходов, несвязанных напрямую с производственными затратами. Это, прежде всего, потери, возникшие в результате внеплановых простоев оборудования, выпуска брака, а также затраты на ликвидацию аварий. По ряду объективных причин доступ, к статистической информации, характеризующей косвенную экономию, существенно затруднен. Однако по сведениям западных источников, данные затраты могут достигать 6% от годового объема производства предприятия.

Суммарная экономическая эффективность внедрения методов и средств вибрационной диагностики в каждом отдельном случае может быть рассчитана как сумма эффективности отдельных составляющих. В качестве примера может быть использована следующая формула:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{рем}} + \mathcal{E}_{\text{авар}} + \mathcal{E}_{\text{внепл}} \quad (1.1)$$

где  $\mathcal{E}$  – суммарная экономическая эффективность,  $\mathcal{E}_{\text{рем}}$  – эффективность за счет сокращения расходов на текущие ремонты, путем оптимизации объемов ремонтных воздействий,  $\mathcal{E}_{\text{авар}}$  – эффект от сокращения затрат на внеплановые ремонты и устранение последствий аварий,  $\mathcal{E}_{\text{внепл}}$  - эффект от исключения внеплановых простоев.

Каждое из слагаемых может быть представлено в виде экономии расходов. Например, экономия расходов на ремонт ( $\mathcal{E}_{\text{рем}}$ ) может быть представлена как разность между затратами на ремонты до ( $Z_{\text{п1}}$ ) и после ( $Z_{\text{п2}}$ ) внедрения методов и средств вибрационной диагностики и рассчитана по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{рем}} = Z_{\text{п1}} - Z_{\text{п2}} \quad (1.2)$$

где  $Z_{п1}$  и  $Z_{п2}$  вычисляются по следующим формулам:

$$Z_{п1} = Н*(С_{кр1}*K_{кр1} + С_{ср1}*K_{ср1} + С_{тр1}*K_{тр1}) \quad (1.3)$$

$$Z_{п2} = Н*(С_{кр2}*K_{кр2} + С_{ср2}*K_{ср2} + С_{тр2}*K_{тр2}) \quad (1.4)$$

где  $Н$  - число диагностируемых агрегатов,  $С_{кр1,2}$  - стоимость капитального ремонта до и после внедрения,  $K_{кр1,2}$  - удельное число капитальных ремонтов,  $С_{ср1,2}$  - стоимость среднего ремонта до и после внедрения,  $K_{ср1,2}$  - удельное число средних ремонтов,  $С_{тр1,2}$  - стоимость текущих ремонтов до и после внедрения,  $K_{тр1,2}$  - удельное число текущих ремонтов.

Подставив выражения (1.3) и (1.4) в равенство (1.2), получим итоговую расчетную формулу для суммарной экономической эффективности:

$$\mathcal{E}_{рем} = Н*(С_{кр1}*K_{кр1} + С_{ср1}*K_{ср1} + С_{тр1}*K_{тр1} - С_{кр2}*K_{кр2} - С_{ср2}*K_{ср2} - С_{тр2}*K_{тр2}) \quad (1.5)$$

В зависимости от типа оборудования и факторов, учитываемых при расчете суммарной экономической эффективности, формула (1.1) может дополняться новыми слагаемыми. В этом случае суммарная экономическая эффективность может быть рассчитана по следующей универсальной формуле:

$$\mathcal{E} = \sum_{i=1}^n (Z_{i1} - Z_{i2}) \quad (1.6)$$

где  $i$  - порядковый номер учитываемого фактора,  $n$  - общее количество учитываемых факторов,  $Z_{i1}$  и  $Z_{i2}$  - затраты или эффект от  $i$ -го фактора до и после внедрения методов и средств вибрационной диагностики соответственно.

В настоящее время накоплен обширный статистический материал, подтверждающий высокую экономическую эффективность практического внедрения методов и средств вибрационной диагностики, в том числе и на предприятиях металлургии. Так, по данным американского исследовательского центра ARC Advisory Group, 1 час незапланированного простоя обходится для металлургического предприятия в среднем в 1,2 млн. рублей. Нетрудно посчитать, что предотвращение только одного часа простоя позволит полностью окупить затраты на приобретение двух-трех комплектов переносной виброизмерительной аппаратуры [3].

По данным службы надежности одного из отечественных металлургических комбинатов, внедрение методов и средств вибрационной диагностики на блоках станинных роликов позволило полностью исключить их аварийные выходы из строя и снизить общее количество ремонтов на 20%. Так, средняя наработка блоков в межремонтный период до взятия под контроль составляла 62 дня (около 5,8 ремонтов в год), причем замены производились аварийно, а после взятия под контроль - 77 дней (около 4,7 ремонтов в год). Экономический эффект от сокращения затрат на ремонты и отсутствия аварийных простоев за один год составил 1 288 294 руб.

Опыт отдела технической диагностики показывает, что при регулярном использовании современных методов вибрационного контроля удается сократить затраты на ремонты на 10-30% и снизить аварийность на 50-90%. Так, затраты на ремонт эксцентриковых валов механизмов качания кристал-

лизаторов МНЗЛ конвертерного производства снижены за первый год на 526 941 руб. (37%), а за второй год еще на 9,6%, подушек рабочих валков вертикальных клетей стана 730 обжимного цеха за первый год – на 1 342 000 руб. (34,2%), а за второй – еще на 44%. Значительное снижение затрат получено при внедрении диагностики в ЛПЦ-1 (станы 1700 и 2800) и в ЛПЦ-2 (стан 2000) на формирующих роликах моталок, электродвигателях приводов вертикальных клетей, вентиляторах печей, редукторах гильотинных ножниц линии резки и термоотделения, нажимных механизмах клетей, блоках станинных роликов черновой клетки «Кварто» и т.д. При составлении бизнес-плана отдела диагностики (29 человек) предполагаемая годовая прибыль составила 7 024 944 руб. [4].

Аналогичные данные были получены и на другом металлургическом производстве. За 1 год работы специалистами отдела мониторинга и технической диагностики были выданы 20 предписаний, 326 рекомендаций и 1857 замечаний, а на 90 единицах роторного оборудования произведена наладка (лазерная центровка и балансировка в собственных опорах). Среди поднадзорного оборудования: редукторы станков, насосы охлаждения шиберов, гидромоторы пакеровщиков, вентиляторы, дымососы и воздуходувки, волоочильные станы, канатные машины и т.д. Так, только по двум сталеплавильным цехам СтПЦ-1 и СтПЦ-2 было выявлено 184 дефекта и выданы рекомендации по их немедленному устранению. В результате обнаружения и своевременного устранения этих неисправностей условный экономический эффект по двум цехам составил 6,8 млн. рублей. По причине своевременной замены подшипников и предотвращения аварийных простоев экономический эффект по прокатному производству составил 2 млн. рублей, по метизному производству – 5,7 млн. рублей. В результате проведения мониторинга технического состояния оборудования время внеплановых ремонтов в ЭСПЦ-1 снизилось за 1-й год работы службы на 47,9%, а за 2-й – еще на 29,7%, по ЭСПЦ-2 сократилось за три месяца на 23,2 часа.

Другой пример успешного внедрения вибрационной диагностики - организация входного контроля подшипников качения. Подобное мероприятие позволяет увеличить межремонтный интервал оборудования на 10 – 12 % и продлить срок службы подшипников в 2-3 раза, что приводит к сокращению затрат на обслуживание на 5 - 7 %.

Еще один немаловажный практический аспект эффективности внедрения методов и средств вибрационной диагностики – энергосбережение. В условиях роста цен на энергоносители и повышения стоимости электроэнергии для конечного потребителя вопросам энергосбережения уделяется повышенное внимание. Многочисленные исследования с убедительностью показали эффективность использования средств вибрационной наладки для сокращения потребляемой электроэнергии. Так, качественная центровка четырех опорного агрегата позволяет в среднем снизить потребляемую мощность от 1 до 3% во время работы и от 5 до 12 % в режиме холостого хода в зависимости от конструкции агрегата и номинальной мощности привода. Еще более впечатляющей выглядит статистика по экономии электроэнергии на

оборудовании до и после балансировки, полученная на одном из металлургических комбинатов [5].

Представленный выше статистический материал наглядно демонстрирует высокую эффективность практического внедрения ресурсосберегающих технологий на базе методов и средств вибрационной диагностики. Однако столь впечатляющие результаты не могут быть достигнуты путем точечного использования существующих аппаратных и программных средств. Важно понимать, что залог высоких экономических показателей заключается, прежде всего, в методически грамотной проработке стратегии обслуживания и ремонта роторного оборудования, которая достигается сочетанием двух основных факторов. Это комплексный подход к решению вопросов достоверной оценки технического состояния оборудования на всех этапах его жизненного цикла (входной контроль, приемосдаточные испытания, эксплуатация, предремонтный контроль, ремонт, послеремонтный контроль), а также оптимальный выбор средств измерений, в максимальной степени соответствующих специфике диагностируемого оборудования.

Любое новое оборудование, в том числе и оборудование металлургических производств, нуждается в высококвалифицированном монтаже. Роль технологий вибрационной диагностики на этом этапе заключается в организации входного контроля вводимого в эксплуатацию оборудования и проверке его виброактивности на соответствие существующим нормам. На стадии эксплуатации оборудования аппаратные и программные средства вибрационной диагностики призваны осуществлять контроль его вибрационных характеристик и своевременно информировать о возникающих неисправностях. Залогом надежной и долгой эксплуатации оборудования является качественный ремонт, который невозможен без контроля всех основных вибрационных параметров перед выводом в ремонт и после ремонта. Любой ремонт, включающий в себя демонтаж отдельных узлов агрегата, не может быть завершен без балансировки и центровки.

Еще один немаловажный фактор успешного ремонта – организация стендовых испытаний. В настоящее время наибольшее распространение получили стенды входного контроля подшипников качения, которые способны произвести отбраковку некачественного изделия до его монтажа, а, следовательно, принести существенную экономию средств за счет исключения незапланированных простоев из-за некачественных подшипников. В условиях широкого распространения контрафактных изделий подобная экономия может внести существенный вклад в общее увеличение прибыльности производства. Только тщательное соблюдение изложенных выше положений способно действительно повысить эффективность управления производством и надежность эксплуатации оборудования и позволяет достигнуть положительно экономического эффекта от внедрения технологий вибрационной диагностики.

Другой практический аспект, во многом определяющий успех внедрения технологий вибрационной диагностики в рамках описанного комплексного подхода, – квалифицированный выбор измерительных средств для контроля состояния оборудования во время его эксплуатации. Одним из основ-

ных критериев оценки измерительных средств является максимальное соответствие их технических характеристик и функциональных возможностей решаемым задачам с учетом специфики эксплуатации отдельных видов оборудования. В этом случае особое значение приобретает разнообразие технических решений производителя средств вибрационной диагностики, позволяющее на практике осуществлять индивидуальный подход к контролю различных видов оборудования [6].

Опираясь на огромный опыт практических работ на промышленных предприятиях различных отраслей промышленности, специалисты НПО «ДИАТЕХ» провели подробную классификацию роторного оборудования. При проведении этой классификации учитывались такие параметры как критичность оборудования (его стоимость, затраты на обслуживание, затраты на ремонт, стоимость простоя и аварийного ремонта и т.д.) и время развития дефекта (периодичность обновления данных, достаточная для принятия решений по дальнейшему обслуживанию и своевременному безаварийному выводу в ремонт). В результате анализа все вращающееся оборудование было разделено по приоритетности контроля на три основные группы: оборудование, дефекты которого развиваются достаточно медленно (годы - недели), а его критичность минимальна, промежуточная группа – более критичное оборудование с более быстроразвивающимися (недели - часы) дефектами и группа особо ответственного оборудования, дефекты которого могут развиваться за часы и даже минуты. На рис. 1 представлена обобщенная диаграмма, отражающая результаты проведенной классификации оборудования для металлургического производства.

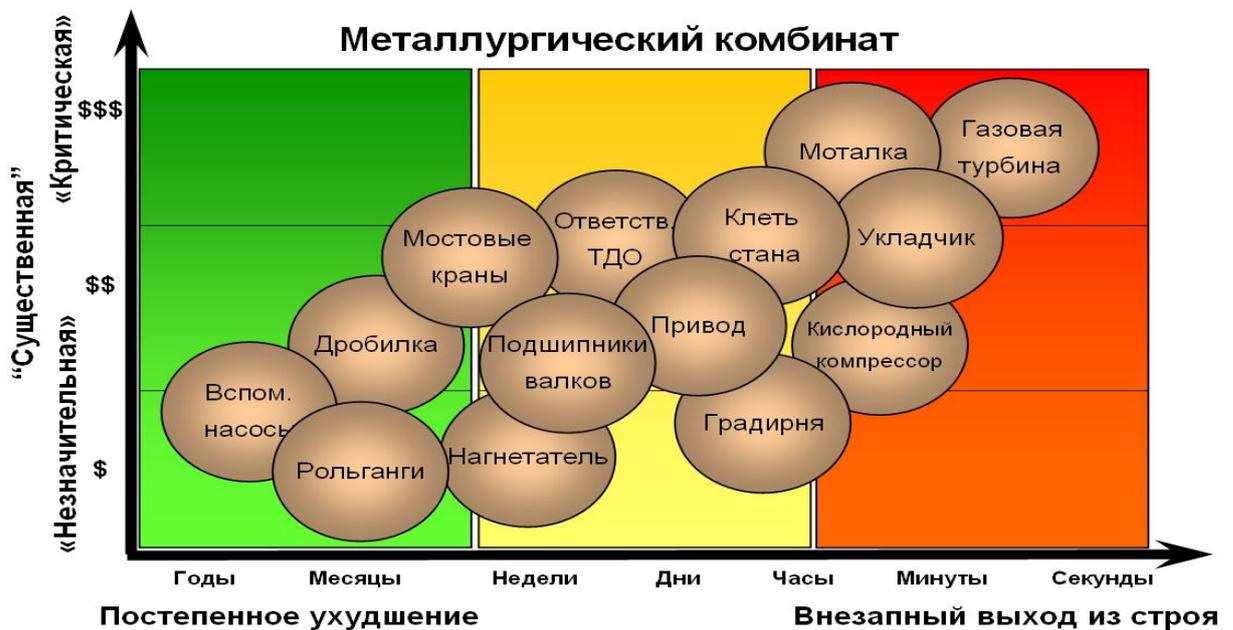


Рис. 1. Диаграмма классификации роторного оборудования металлургического производства.

Очевидно, что подходы к контролю состояния и диагностике оборудования различных групп должны существенно различаться. Для первой группы наиболее оправдан периодический контроль при помощи переносных

сборщиков данных. Для второй группы - вибрацию необходимо контролировать уже стационарными системами, но делать это можно последовательно, с определенной периодичностью. Особо ответственное оборудование третьей группы необходимо контролировать непрерывно, причем помимо мониторинга (отслеживания параметров во времени) необходимо осуществлять и защиту (оперативная сигнализация или отключение в случае превышения заданных уставок). В зависимости от критичности оборудования, согласно принятой классификации, применяемые технические решения могут также отличаться. Например, для ответственного оборудования, дефекты которого развиваются достаточно медленно, эффективно использование переносных многоканальных исследовательских комплексов, более простое оборудование может контролироваться при помощи виброанализаторов, а вспомогательное оборудование – при помощи виброметров. На рис. 2 представлена диаграмма, иллюстрирующая выбор оптимального технического решения для контроля состояния оборудования различных групп.



*Рис. 2. Диаграмма выбора оптимального технического решения для контроля различных групп роторного оборудования.*

Любое металлургическое предприятие – это большое количество основных и вспомогательных производств, на которых эксплуатируется огромное количество самого разнообразного оборудования. Внезапный выход из строя одного из агрегатов может стать причиной нарушения всего производственного цикла, поэтому первостепенная задача – организация вибрационного мониторинга состояния всего оборудования для обеспечения его безаварийной работы. Результаты классификации роторного оборудования, представленные на диаграмме (рис. 1), а также рекомендации по выбору оптимальных технических средств (рис. 2) позволяют с успехом решать эту непростую задачу на практике. Однако конечная эффективность внедрения методов и средств вибрационной диагностики определяется разнообразием

используемых программно-аппаратных средств, их высокой надежностью, превосходными техническими характеристиками, а также адаптированностью к особенностям эксплуатации в условиях реального производства [7].

Примером компании, разрабатывающей полный спектр программно-аппаратных средств для оценки технического состояния роторного оборудования на всех этапах его жизненного цикла и предлагающей индивидуальный подход к выбору технических решений для различных видов агрегатов, является НПО «ДИАТЕХ». На сегодняшний день компания предлагает наиболее широкую линейку переносных виброизмерительных приборов (виброметры семейства YAL, виброанализаторы Brig, Corvet, Clipper), стационарных систем (UMS, CMS, MPS) и программного обеспечения SAFE PLANT с возможностями автоматизированной диагностики роторного оборудования.

Помимо аппаратных решений, специалисты компании уделяют самое пристальное внимание вопросам методологического обеспечения, внедряя системы автоматизированной диагностики, разрабатывая методики контроля состояния ответственных металлургических агрегатов, участвую в совершенствовании технологического процесса и вопросах создания, оснащения и сопровождения заводских бюро диагностики. Благодаря комплексному решению вопросов контроля состояния оборудования на различных этапах жизненного его цикла, а также стратегии индивидуального подхода к выбору измерительных средств компания зарекомендовала себя в качестве надежного поставщика высококачественных технических решений, направленных на повышение эффективности управления металлургическим производством.

За долгие годы работы специалисты НПО «ДИАТЕХ» прекрасно изучили специфику эксплуатации, технического обслуживания и ремонта основного и вспомогательного оборудования и максимально адаптировали технические решения с учетом особенностей технологических процессов металлургического производства. На сегодняшний день компания является единственным поставщиком комплексных высокотехнологичных решений для металлургических предприятий в области вибрационной диагностики. Это балансировочные станки и стендовые комплексы для электроремонтных и механоремонтных служб, переносные приборы и программное обеспечение для бюро диагностики, а также стационарные системы вибрации различного назначения для контроля основного и вспомогательного оборудования – прокатных станов, печей, МНЛЗ, дымососов, компрессоров и т.д.

Комплексное и методически грамотное внедрение всех этих средств позволяет металлургическим комбинатам на практике не только достигать высоких экономических показателей путем оптимизации технического обслуживания и ремонта, но и с успехом решать задачи повышения надежности работы оборудования, увеличения производительности, энергосбережения, сокращения процента брака и т.д.

## **Заключение**

Подводя итоги рассмотрения основных аспектов повышения эффективности управления металлургическим производством путем комплексного

внедрения ресурсосберегающих технологий на базе методов и средств вибрационной диагностики, необходимо подчеркнуть ряд тезисов, имеющих важное практическое значение. В настоящее время не вызывает сомнений высокая эффективность использования методов и средств вибрационной диагностики при решении задач повышения надежности эксплуатации и оптимизации затрат на техническое обслуживание и ремонт роторного оборудования. Однако для достижения высоких экономических показателей при внедрении вибрационных технологий необходима квалифицированная методологическая проработка стратегии оптимального технического обслуживания и ремонта, базирующейся на описанных положениях комплексного подхода к контролю оборудования на всех этапах его жизненного цикла и выборе технических средств для контроля эксплуатируемого оборудования с учетом его индивидуальных особенностей.

### **Список литературы**

1. Вибродиагностика в системах технического обслуживания по фактическому состоянию оборудования металлургических производств / Сушко А.Е., Демин М.А. – Вибрация машин: измерение снижение защита -2005. - №1 – С. 6- 9.
2. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 7: Кн.2: Вибродиагностика. / Ф.Я. Балицкий, А.В. Барков, Н.А. Баркова и др. М.: Машиностроение, 2005. 829с.: ил.
3. Сушко А.Е. Практические аспекты внедрения систем вибрационной диагностики в условиях современных промышленных производств // Вибрация машин: измерение снижение защита. 2007. №4 С. 24 - 30.
4. Радчик И.И., Рябков В.М, Сушко А.Е. Комплексный подход к вопросам надежности работы основного и вспомогательного оборудования современного металлургического производства // Оборудование. Технический альманах. 2006. №1. С. 24 – 28.
5. Скворцов Д.Ф., Сушко А.Е., Успенский Д.А. Повышенная вибрация роторного оборудования и способ ее устранения // Мир техники и технологий. 2002. №8. С. 20-22.
6. Сушко А.Е. Комплексный подход к вопросам повышения надежности работы оборудования // Вибрация машин: измерение снижение защита. 2006. №3. С. 42-47.
7. Тараканов В.М., Скворцов О.Б., Сушко А.Е. Системы непрерывного контроля по вибрационным параметрам // Вибрация машин: измерение снижение защита. 2006. №3 С. 48- 54.