

**В.В.Веренев, В.И.Большаков, В.В.Коренной, А.П.Даличук**

### **ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА МАССИВОВ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ПРОКАТНЫХ СТАНАХ**

Представлен анализ публикаций по обработке больших массивов информации и использования информативных признаков для анализа и оценки технологии прокатки и работы оборудования. На основании этого сформулированы некоторые направления исследований по сбору, обработке и использованию информации применительно к широкополосным станам.

**Состояние вопроса.** В Институте черной металлургии НАНУ ведется исследования по динамике и диагностике металлургического оборудования [1,2]. В частности, на основе динамических моделей разработаны и в промышленных условиях опробованы методы и способы вибрационного диагностирования оборудования прокатных станов [3]. При этом используются большие массивы вибрационной информации, измеренной в различных режимах работы стана. Наряду с этим используются технологические и режимные параметры, регистрируемые стационарными системами. Опыт показывает, что полнота и глубина и глубина диагностирования существенно повышается, если ведется комплексный анализ параметров технологического процесса, параметров качества продукции, работы механического и электрического оборудования, систем регулирования и управления на основе сбора больших массивов информации в цифровом виде. Этому способствует развитие микропроцессорной техники и расширение ее применения в производстве.

В реальных условиях на большинстве производств получаемая информация по одному из упомянутых направлений используется по прямому назначению и остается в определенном смысле «изолированной» от остальных направлений (массивов). Анализ показывает, что и в этом случае получаемая информация остается «недоиспользованной». Из опыта исследований можно привести примеры, когда в нормальном режиме протекает технологический процесс и работает оборудование, поэтому большинство зафиксированных параметров в этот период не подвергается анализу. Например, в цифровом виде регистрируется мощность или электромагнитный момент главных приводов клетей. К анализу этой информации прибегают в тех случаях, когда происходит отклонения в технологии или в работе клетей. Тогда сравнивают показатели работы с нарушениями и – в нормальном режиме. Однако зафиксированная цифровая информация о параметрах работы в нормальном режиме не обрабатывается и не анализируется, из нее не «выжаты» наиболее информативные параметры и не представлены в удобном для использования наглядном виде. В результате отсутствуют нормативные (эталонные) значения признаков, на

которые следует ориентироваться. Этого не делается по той причине, что недостаточно разработаны, во-первых, способы и алгоритмы обработки массивов данных, во-вторых, не определены и не исследованы информативные признаки, по которым следует вести сравнение.

Анализ публикаций показал, что методы сбора цифровой информации, ее первичного форматирования и систематизации, как правило, не раскрываются [4–9]. Недостаточно уделяется внимания сбору, обобщению и представлению информации, касающейся оборудования прокатных клетей. Основные операции технического обслуживания отражаются в агрегатных журналах (замена деталей при поломках, во время планово-предупредительных ремонтов и др.). Вместе с тем эта информация не представляется в организованном электронном виде с тем, чтобы ею могли воспользоваться технологи при анализе качества продукции или службы, занимающиеся технической диагностикой оборудования. Основные вопросы статистической обработки деформационно-силовых параметров достаточно хорошо исследованы и описаны в период, когда цифровая техника еще мало применялась на прокатных станах [10–16].

В 1990-х годах в кризисных экономических условиях существенно сократились натурные исследования на действующих станах, резко уменьшилось количество публикаций по обработке данных измерений. Частично это можно объяснить также отсутствием опыта работы с большими массивами цифровой информации и соответствующего программного обеспечения (копирование с носителей, расположенных в цехе, формирование файлов, их систематизация, хранение, архивация, быстрота доступа и др.). В настоящее время, когда появилась возможность сбора больших массивов информации на прокатных станах, этому вопросу снова начинают уделять внимание [15,16]. Следует отметить еще одно направление возможного использования данных обработанной информации – для разработки систем управления промышленной безопасностью, в частности, прокатных станов.

В связи с этим предлагается краткий анализ публикаций на рассматриваемую тему и сформулированы некоторые направления исследований применительно к непрерывным широкополосным станам.

**Анализ публикаций.** Следует отметить, что методы и алгоритмы сбора цифровой информации в литературе практически не освещаются. В то же время очевидна необходимость разработки методических основ выбора, вывода и систематизации информации заводских (цеховых) носителей (по одному или нескольким параметрам), размещенных в разных базах, организовать ее хранение и архивацию вместе с протоколами и обеспечить быстрый доступ с целью использования для последующей обработки и анализа.

В публикациях дается описание систем мониторинга параметров оборудования [4], технологических нагрузок [5,6,7], информационных систем управления производством и качеством продукции [8,9,10]. В работе [9]

отмечается большой прогресс в информационных технологиях. Авторы в связи с этим ставят вопрос: позволят ли новые измерительные системы и информационные технологии улучшить контроль и регулирование качества продукции, и какие при этом необходимо использовать стратегии. При мониторинге качества (в данном случае плоского проката) должны учитываться условия по всей производственной цепочке: «...подход, охватывающий все этапы производства, является необходимым условием...». Предлагаемая авторами [9] стратегия включает следующее.

1. Полномасштабное описание качества продукции и количественная оценка (назначение) параметров.

2. Разработка основ управления качеством. В частности, из всех процессов или агрегатов производственной цепочки следует определить и соответствующим образом архивировать наиболее критические технологические и информативные параметры, от которых зависит качество продукции.

3. Разработка системы принятия решений о необходимости изменения технологического процесса.

4. Оценка качества данных, возможности дополнительного использования накопленных данных и целенаправленных действий. Сюда относят селективный выбор параметров и их оценку для того, чтобы установить «хороший» или «плохой» процесс (или качество полосы).

5. Распознавание изменений технологического процесса и качества. В общем случае можно распознать как быстроменяющиеся (в течение рабочей смены), так и медленно меняющиеся процессы.

6. Сквозной анализ причин появления отклонений в технологии, дефектов качества или работы оборудования. Ясно, что каждый из перечисленных пунктов должен включать алгоритмическое обеспечение, для разработки и систематизации того или иного объема цифровой информации.

Для лучшего понимания вопросов, рассмотрим несколько примеров описательного характера, приведенных в работе [9]. Описана разработка и внедрение системы оценки качественных данных, полученных от средств контроля поверхности, без учета технологических параметров. Для решения задачи предлагается выбрать все полосы, произведенные за последние три месяца из высококачественных слябов определенных марок сталей толщиной 1–1,5 мм для конкретного заказчика. С помощью данных, полученных в ходе отбора полос и ряда оценок (последние не раскрываются) можно установить норму «хорошего» качества и его отличие от «плохого». Проведение статистического анализа для тысяч полос не представляет трудностей. Если, например, утром в понедельник поступает информация о том, что с конца недели на горячекатаной полосе образовался более толстый слой окалина, то на основании соответствующего анализа данных (какой анализ и каких данных не раскрывается) можно установить, произошли ли в это время какие-либо значительные изменения в оборудовании или технологическом процессе. С помощью статистическо-

го анализа большого числа полос можно сделать выводы о причинах появления дефектов и на этой основе создать прогнозные модели о вероятности появления определенных дефектов качества.

Сообщается, что для решения поставленных задач на протяжении ряда лет Институт производственных исследований (BFI) проводил разработку высокоэффективного программного обеспечения (Data Tools), которое специально адаптировано к особым условиям металлургического производства. Это позволяет реализовать продольный мониторинг продукта, предварительную обработку данных, статистический и графический анализ данных, создание моделей технологического процесса и качества. Рядом с интерфейсом пользователя представляются некоторые данные: графическое сопоставление дефектов, правила, которые описывают условия, приводящие к определенному уровню качества, гистограммы расположения технологических переменных параметров в приоритетном порядке относительно их влияния на качественные характеристики продукции [9].

Информационные технологии в прокатном производстве включают данные систем регулирования, управления, контроля качества и диагностики. Задача состоит в том, чтобы эффективно использовать информационные массивы разнообразных данных этих систем для оценки технологического процесса, качества продукции и работы оборудования.

В работе [6] отмечается, что в результате анализа взаимосвязи оборудования и технологии приобретаются определенные «опытные знания», которые необходимы для обслуживающего персонала, с одной стороны, а с другой стороны, содержатся в поступивших в архив сигналах о ходе технологического процесса. Эти знания следует по возможности объединить и использовать для изучения возможных изменений технологического процесса и состояния оборудования. Авторы отмечают три важных момента.

1. Эффективное использование современных систем контроля предусматривает их привлечение в технологический процесс производства продукции и технологическое обслуживание оборудования в значительно большей мере, чем это было раньше.

2. Системы контроля, по оценке специалистов, находятся в стадии развития. Следовательно, эти системы сильнее, чем прежде, требуют автоматизации. Для этого необходимо расширить применение современных методов получения и обработки информации.

3. На основании этого можно разрабатывать мероприятия по повышению эффективности прокатки.

В статье [19] отмечается, что надо лучше изучить вопрос о скрытых информационных возможностях, необходимо хорошо знать сильные и слабые стороны технологических процессов и конструкции стана. Одним из путей такого изучения является исследование имеющихся массивов информации о технологическом процессе и работе оборудования.

В работе [20] отмечается, что наряду с наличием современной системы автоматизации важной предпосылкой для оптимальной эксплуатации оборудования является также наличие системы контроля качества продукции и технологического процесса, одновременно обладающей функциональными возможностями диагностики. Приводится пример возможности контроля качества по идентификации периодически появляющихся дефектов полосы. Суть состоит в том, что исследования проводятся не с помощью датчиков колебаний, а с применением качественного сигнала «выходная толщина». Фактически используются массивы показаний датчиков толщины для каждой прокатанной полосы. Эти массивы поступают в архив и в большинстве случаев не подвергаются обработке и анализу. С одной стороны, сигнал толщины служит в качестве основной измеряемой величины, с другой – позволяет выделить возмущающие факторы, имеющие отношение к качеству полосы. Сообщается, что кроме выявления периодических отклонений толщины из-за биений валковой системы обнаружены отклонения из-за повторяющихся колебаний твердости исходного горячекатаного подката.

В работе [8] отмечается важность оперативного принятия решений по результатам анализа значительного объема информации, показана необходимость уделять особое внимание упорядочению информации и обмена ею между службами. В разработанной для стана 2000 системе предусмотрены следующие основные функции: определить какую продукцию и из чего необходимо произвести, назначить технологию ее производства, контроль протекания технологического процесса, проверка выполнения всех технологических требований, контроль свойств продукции, необходимость в корректировке технологии. Разработана архитектура подсистемы нормативно-справочного сопровождения продукции, технологические карты, технологический паспорт каждого рулона и паспорт его качества, модули технологического анализа. Новшеством технологического протоколирования (цифровой регистрации данных) является то, что информация о технологическом процессе относится к той или иной части объема проката (к участкам длины полосы), что существенно повышает ее информативность. Получаемая информация используется не только для управления производством и контроля качеством продукции, но для исследования и совершенствования технологии.

Достигнутые результаты в упомянутой работе свидетельствуют об актуальности построения стратегии использования массивов информации и разработки конкретных алгоритмов ее обработки и анализа. Следует отметить, что рассмотренная работа ориентирована на существующие системы измерения и регистрации, в ней не учтена потребность в регистрации и анализе работы механического оборудования, его нагрузочных параметров и фактического технического состояния.

В качестве примера, где оперативно используются массивы информации, можно указать на работу [21]. Здесь излагается метод оценки воз-

возможности транзитной прокатки слябов на стане 1680, в котором для оценки теплосодержания сляба учитываются энергозатраты на прокатку слитка на обжимном стане. На основании обработки массивов данных по температуре поверхности слябов, энергозатрат, типов и количестве слитков, типа плавок, марок стали определены зависимости между средней температурой поверхности раската на выходе из черновой группы клетей стана 1680 и удельными энергозатратами при прокатке соответствующего слитка на слябинге, построены кривые распределения удельных затрат на деформацию слитков в слябы для различных марок сталей. В результате существующий критерий возможности прокатки слябов транзитом по температуре поверхности уточняется за счет использования удельных энергозатрат на деформацию слитков на слябинге.

Особый раздел составляют вопросы статистической обработки энергосиловых параметров прокатки и вероятностной оценки характеристик нагруженности прокатного оборудования [22], в частности, учета динамических нагрузок в главных линиях при расчетах на прочность и выносливость [23, 24]. Показана целесообразность использования статистических методов расчета энергосиловых параметров при решении различных прочностных и технологических задач повышения производительности прокатных станов. В этой части достаточно хорошо разработаны алгоритмы и методы анализа, основанные на статистической обработке собираемых данных измерений [13,22].

**Направления исследований.** Анализ публикаций показывает, что оценка технологического процесса и работы оборудования на базе массивов цифровой информации достаточно сложны и многогранны. На основании анализа публикаций и результатов больших массивов информации, полученных в ИЧМ на широкополосных станах 1680 и 1700, целесообразно сформулировать некоторые направления исследований по оценке технологии прокатки и работы оборудования.

1. Определение информативных взаимосвязей между технологическими параметрами и на основании этого обоснование и выбор рационального сочетания технологических параметров, необходимых для анализа технологии. Например, одновременная запись вдоль длины  $L$  температуры прокатываемой полосы  $T(L)$  и момента  $M_{ст}(L)$  главного привода позволяет выяснить причины повышенных значений  $M_{ст}$  по длине, в головной или хвостовой части, а их среднее значение по каждой полосе в плавке – сделать заключение о стабильности задачи слябов в стан.

2. Определение рациональной частоты записи параметров в цифровом виде. Например, температура полосы и обжатие изменяются значительно медленнее, чем крутящий момент.

3. Обоснование и выбор информативных признаков, характеризующих стабильность технологического процесса, параметров прокатки и режимов работы оборудования. К ним можно отнести такие показатели, как среднее значение  $m$ , среднее квадратическое отклонение  $\sigma$  и коэффи-

циент вариации  $v = \sigma / m$ , вычисленные для каждой полосы и всех полос в партии (плавке). Разработка методов анализа информативных признаков и связи их с технологией и работой оборудования.

При прокатке одной плавки (одна марка стали и практически постоянные исходные размеры слябов) скоростной и деформационный режим практически не перестраиваются. Поэтому данная выборка обладает наименьшим значением коэффициента вариации  $v_1$ . На основании анализа значений  $v_1$  при прокатке плавков из аналогичных марок сталей и размеров слябов выбирают распределение нагрузки с наименьшим значением  $v_{1нз}$ . Получая подобным образом значения  $v_{1нз}$  для других марок сталей с привязкой к размеру слябов, формируют таблицу (матрицу) оптимальных (эталонных) значений  $v$  по крайней мере для 10–15 основных марок сталей и размеров слябов. Эти значения служат в качестве образца, с которым сравнивают результаты последующих измерений и обработки данных. Определяя  $v_1$  для различных плавков, дают сравнительную оценку выполнения технологии прокатки этих плавков.

Исследования показывают, чем больше выборка, тем ближе распределение нагрузки к нормальному закону. Однако изменение среднего значения и среднего квадратического отклонения происходят таким образом, что коэффициент вариации увеличивается. Пусть  $v_p$  коэффициент для результирующей (генеральной) выборки за длительный промежуток времени, например, с начала года (или с начала работы стана после окончания капитального ремонта). Тогда очевидно, что  $v_1 < v_2 < v_p$ , а отношения  $v_2/v_1$ ,  $v_p/v_1$  и величина  $v_1$  могут быть использованы как признаки, наглядно характеризующие совершенство технологии. Здесь  $v_2$  может относиться к выборке полос, прокатанных, например, за час, за смену, разными бригадами  $v_2'$  и  $v_2''$ .

4. Разработка правил оценки технологического процесса, параметров прокатки и работы оборудования. Исследования показывают, что здесь эффективно использование, в частности, коэффициента вариации, который является достаточно сильным информативным признаком. Эффективность разработки правил увеличивается, если принятые признаки анализируются одновременно в нескольких клетях непрерывного стана.

Обоснованность такого подхода подтверждается путем анализа значений коэффициента вариации статического момента  $v_{Mст}$ , максимального динамического момента  $v_{Mдин}$  и коэффициента динамичности  $v_{кд}$ , приведенных в таблице для трех клеток стана 1680.

Таблица. Значения коэффициента вариации статического момента  $v_{Мст}$ , максимального динамического момента  $v_{Мдин}$  и коэффициента динамичности  $v_{кд}$  для трех клетей стана 1680.

НТЛС 1680	Весь массив по клетям за 13.12.03			Часть массива по клетям за 13.12.03 (13:42–14:59)		
	Клеть №1 $N=170$ шт (13:42–17:04)	Клеть №2 $N=138$ шт (13:42–16:45)	Клеть №3 $N=483$ шт (13:42–23:56)	Клеть №1 $N=97$ шт	Клеть №2 $N=92$ шт	Клеть №3 $N=94$ шт
$v_{Мст}$	0,097	0,115	0,129	0,068	0,058	0,054
$v_{Мдин}$	0,125	0,045	0,257	0,103	0,033	0,261
$v_{кд}$	0,111	0,097	0,253	0,097	0,053	0,266

В клетях №1 и №2 коэффициенты вариации для части выборки (из целого массива), которая сгруппирована по близкому сортаменту, прокатанного в течение примерно одного часа, заметно меньше. В то же время  $v_{Мст}$  в клетях №3 для части выборки меньше, также как и в клетях №1 и №2. Это свидетельствует о достаточно стабильном технологическом режиме в установившемся процессе прокатки. Однако другие коэффициенты вариации, зависящие от динамики нагружения, для части выборки не уменьшились, даже несколько увеличились. Это свидетельствует о проявлении факторов, вызвавших усиление динамических процессов при захвате полос данной выборки в клетях №3, в то время как в клетях №1 и №2 они не проявились.

5. Совместное выполнение анализа технологических параметров и данных об изменении вибрации в тех точках корпусного оборудования линии главного привода, которые наиболее тесно связаны с его техническим состоянием. Это дает возможность установить новые информативные признаки для оценки технологии и оборудования.

1. *Большаков В.И.* Динамика и диагностика машин // В сб. докладов II Международной конференции «Стратегии качества в промышленности и образовании». – Варна, Болгария. – Том 1. – 2006. – С. 385–392.
2. *Верев В.В., Большаков В.И.* Состояние вибрационной диагностики и мониторинга оборудования прокатных станов // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сб. науч. тр. ИЧМ. – Вып. 12. – 2006. – С. 267–281.
3. *Научное обоснование, разработка и исследование новых методов и способов вибродиагностики оборудования прокатных станов в нестационарных режимах работы.* Отчет ИЧМ (ТО–007–02), 2004. № госрегист. – 102U004733.
4. *Система компьютерного мониторинга параметров оборудования и электроприводов агрегатов металлургического производства / С.А.Евдокимов, А.С. Карандаев, А.Л.Копцев и др.* // Конференция прокатчиков. Магнитогорск. – 2001. – С. 278–280.

5. *Создание системы мониторинга прокатного оборудования* / Р.К.Вафин, Р.И.Ахмедшин, А.И. Мальцев и др.// АО "Черметинформация". Бюлл. Черная металлургия. –2001.– №12.– С.58–61.
6. *Беттнер Д., Унгерер В.* Возможности обеспечения качества путем контроля технологии и состояния оборудования на станах холодной прокатки // Черные металлы. – 1997. – №12. – С.20–26.
7. *Мекел Дж., Геротт В., Аш А.* Применение компьютеризованных систем наблюдения и диагностики на прокатных станах // Черные металлы. – 1999. – №12. – С.53–60.
8. *Информационная система управления производством и качеством продукции на стане 2000* / А.А. Морозов, А.Ф. Сарычев, К.А. Лисичкин и др. // Сталь.– 2004. – №12. – С.61–64.
9. *Перерс Х., Хекенталер Т., Хольцкнехт Н.* Стратегии и методы контроля качества при производстве полосового проката // Черные металлы. – 2005. –№12. – С.29–36.
10. *Режим нагружения и прочность прокатных станов* / В.Н. Клименко, Л.В. Коновалов, В.С. Горелик и др. – Киев. Техніка, 1976. – 173 с.
11. *Поклековски Г., Швейер В.* Статистические закономерности распределения напряжений в конструкциях // Черные металлы. – 1964. – №9. – С.24–27.
12. *Статистическая оценка энергосиловых параметров блюминга «1250»* / Л.В.Коновалов, М.Д.Виноградова, В.А.Левченко и др.// Сталь. – 1974. – №7.– С.615–621.
13. *Коновалов Л.В., Шумилов К.Д.* Экспериментальная оценка вариаций давлений металла на валки и моментов прокатки обжимных станов // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1975. – №7. – С.89–95.
14. *Горелик В.С., Деркач А.В.* Определение нагруженности прокатного стана на стадии проектирования с учетом вариации параметров прокатки // Сталь.– 1996. – №9. – С.44–48.
15. *Деркач А.В.* Синтез и классификация эксплуатационных режимов нагружения прокатных станов // Металл и литье Украины. – 1996. – №5. – С.29–32.
16. *Поляков Б.Н.* Сравнительный анализ статистических характеристик нагруженности оборудования прокатных станов // Сталь. – 2005.– №10. –С.86–87.
17. *Оценка качества технологического процесса и работы оборудования непрерывным прокатного стана по токовым нагрузкам главных приводов* / Вернев В.В., Крот П.В. и др.// Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сб. научн. тр. ИЧМ. –Вып.5. – 2002.– С.361–367.
18. *Система мониторинга механических нагрузок стана горячей прокатки 1680 по токовым нагрузкам электроприводов* / П.В.Крот, К.В.Соловьев, В.В.Коренной и др. // Сб. научных трудов НГУ. – №19. – Т.5. –Днепропетровск: Национальный горный университет, 2004. – С.71–76.
19. *Майерль И.* Направления модернизации полосовых станов горячей прокатки // «Черметинформация». Бюлл. «Черная металлургия». – №4. – 2004. С.50–58.
20. *Хорх А., Кнаут Й., Вольмер А.* Контроль качества технологического процесса при производстве холоднокатаной полосы // Черные металлы. –2005. – №3 – С.53–56.
21. *Разработка метода и аппаратная реализация оценки возможности прокатки слябов транзитом* / Г.В.Горлов, О.Н.Штехно, В.Т.Тилик, Д.П.Кукуй и др. // Металл и литье Украины. – №7–9. – 2001. – С.45–52.

22. *Коновалов Л.В.* Нагруженность, усталость, надежность деталей металлургических машин. – М.:Металлургия. – 1981. – 280 с.
23. *Кожевников С.Н., Большаков В.И.* Некоторые вопросы определения динамических нагрузок и выносливости главных линий прокатных станов // Модернизация и автоматизации оборудования прокатных станов. Тр. ИЧМ. – Т. XXVII. – М.: Металлургия, 1967. – С.11–17.
24. *Кожевников С.Н., Большаков В.И.* Динамические нагрузки главных линий прокатных станов и учет этих нагрузок при расчетах на прочность и выносливость // Тр. Первой Всесоюз. конфер. по расчетам на прочность металлургических машин. – Сб. №23. – М.: ВНИИметмаш, 1968. – С.28–46.

*Статья рекомендована к печати канд.техн.наук И.Ю.Приходько*