

УДК 621.771.06

Большаков В. И.
Веренев В. В.
Юнаков А. М.

РАЗВИТИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРОКАТНЫХ СТАНАХ

В Институте черной металлургии им. З. И. Некрасова НАН Украины более пятидесяти лет ведутся исследования динамических процессов в оборудовании металлургических машин, в том числе в прокатных станах. Выполнены работы по исследованию, расчету и выбору рациональных режимов работы обжимных, пилигримовых, заготовочных, сортовых, проволочных и листопрокатных станов, что нашло отражение во многих научно-технических публикациях, в частности [1–3]. Разработки велись на базе комплексного экспериментального и теоретического исследования взаимосвязи вибродинамических процессов во всех узлах оборудования, технологии прокатки, режимов работы станов и технического состояния.

В сложившихся новых экономических отношениях в последние 15–20 лет существенно уменьшилось количество публикаций, в которых приводятся результаты измерений и исследований динамических процессов в оборудовании прокатных станов. Несмотря на это ученые Института черной металлургии продолжают опытно-промышленные исследования [4–6]. За это время выполнены измерения на проволочных станах 150 (г. Макеевка, Череповец, Белорецк), блюминге и слябинге меткомбинатов «Днепроспецсталь» и «Запорожсталь», на широкополосных станах горячей прокатки 1680 (г. Запорожье) и 1700 (г. Мариуполь). Направленность исследований на этих станах весьма различна. Например, на проволочном стане в г. Макеевка при вводе в эксплуатацию определялись динамические характеристики нового оборудования и оптимизировались режимы прокатки, на широкополосных станах горячей прокатки исследовались динамические процессы в главных линиях, разрабатывались решения по их уменьшению и способы диагностирования оборудования. Одно из последних исследований на стане 1680 комбината «Запорожсталь» при вводе в эксплуатацию промежуточно-перемоточного устройства Койлбокс связано с оптимизацией режимов работы оборудования [5].

Цель настоящей работы состоит в том, чтобы представить новые результаты исследований, показать, как используются особенности переходных процессов для разработки новых диагностических методов.

Холостой ход, захват полосы валками, разгон стана, установившийся режим прокатки, торможение стана и выход полосы из валков рассматривались как единый периодически повторяющийся процесс. Учитывалось, что каждая его составляющая содержит информацию о состоянии оборудования и технологии прокатки. Основное внимание уделялось измерению момента сил упругости в линиях главного привода клетей и вибрации корпусного оборудования, как наиболее информативных параметров, связанных с состоянием оборудования и режимами прокатки.

Новым в методах исследований стали измерения с применением аналогово-цифрового преобразования и записью сигналов на компьютер. Это позволило осуществлять длительные измерения (двое-трое суток с небольшими перерывами), получать большие массивы информации во всех режимах работы стана и существенно увеличить их информативность. Впервые разработана методика представления в нескольких видах результатов измерений момента сил упругости в линии главного привода клетей.

На рис. 1 показана динамика изменения среднего момента M_{cm} , а также максимального момента сил упругости M_d и коэффициента динамичности K_d при захвате металла валками в процессе последовательной прокатки в трех клетях партий полос в течение нескольких часов. Каждому промежутку времени соответствует определенный сорторазмер полос. Подобное постоянное графическое представление результатов в процессе работы стана позволяет

определить сортамент и клетки, когда статическая или динамическая нагрузка достигает наибольших (наименьших) значений, выявить и объяснить резкие выбросы нагрузок, а также кратковременные и длительные тренды, обусловленные как технологией подготовки заготовок, так и изменением технического состояния оборудования.

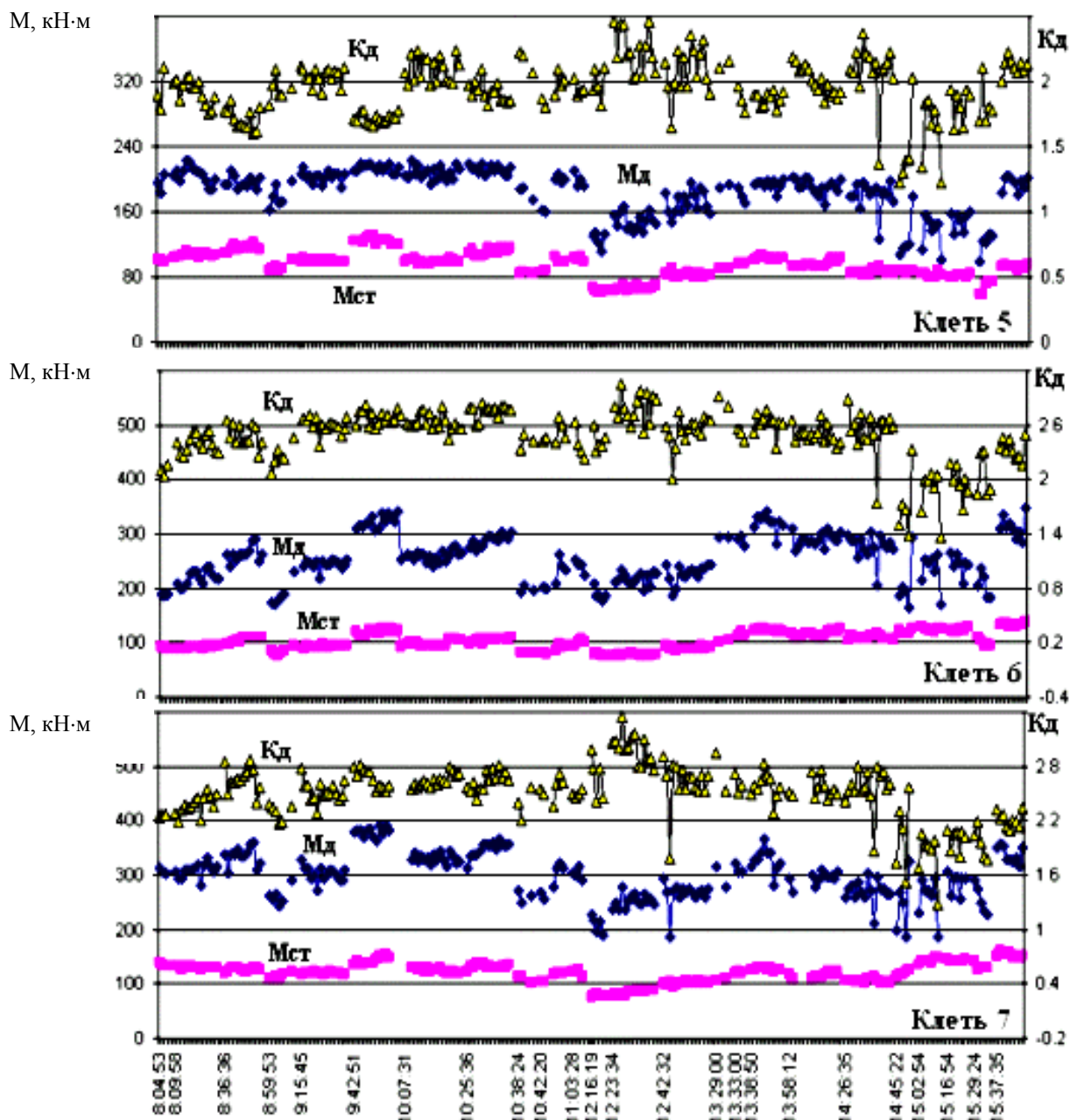


Рис. 1. Графическое представление для каждой полосы обработанных результатов измерений в течение длительного промежутка времени прокатки последовательно в клетях 5, 6, 7 стана 1680

Путем представления результатов измерений в виде массивов точек, например, в системе координат (M_d, M_{cm}) , установили статистически значимую эмпирическую зависимость $M_d(M_{cm})$ для каждой клетки (рис. 2). Её предлагается использовать для определения максимальной динамической нагрузки M_d при условии расчета по известным формулам теории прокатки момента M_{cm} или по параметрам двигателя. Знание подобных зависимостей позволяет более рационально по условию ограничения динамических нагрузок распределять обжатия в клетях непрерывного стана.

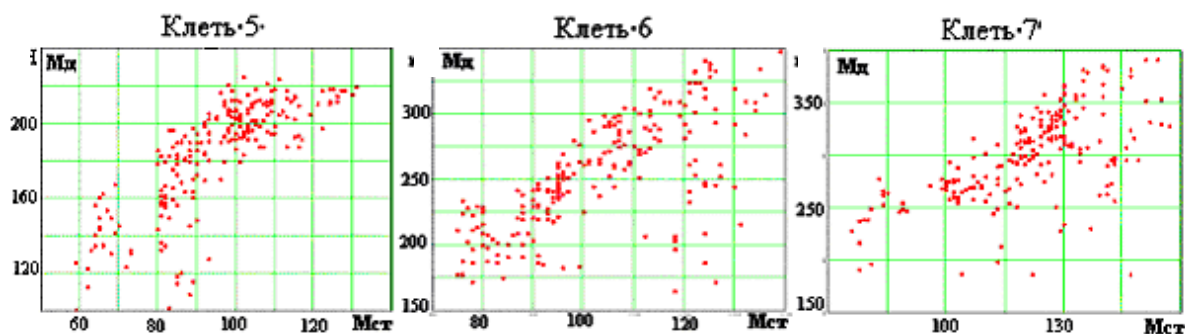


Рис. 2. Представление по клетям 5, 6, 7 стана 1680 измеренных на провале значений максимального момента сил упругости M_δ и момента $M_{ст}$ в установившемся режиме прокатки (кН·м)

Третий вид представления момента сил упругости состоит в построении закона его распределения за время прокатки всей полосы и наложение полученных изображений для партии полос. Его наглядность состоит в том, что можно получать распределения по всем клетям непрерывного стана при прокатке партии полос одного сорта размера (рис. 3), определять какие полосы выделялись средним значением $M_{ст}$ в большую или меньшую сторону, качественно оценивать стабильность процесса прокатки. Например, в клетях 6 две, а в клетях 8 одна полоса прокатаны с меньшим обжатием. В клетях 10 вторая часть полосы прокатывается при меньшем моменте, обусловленном действием натяжения со стороны моталки, в результате чего произошло изменение характера распределения.

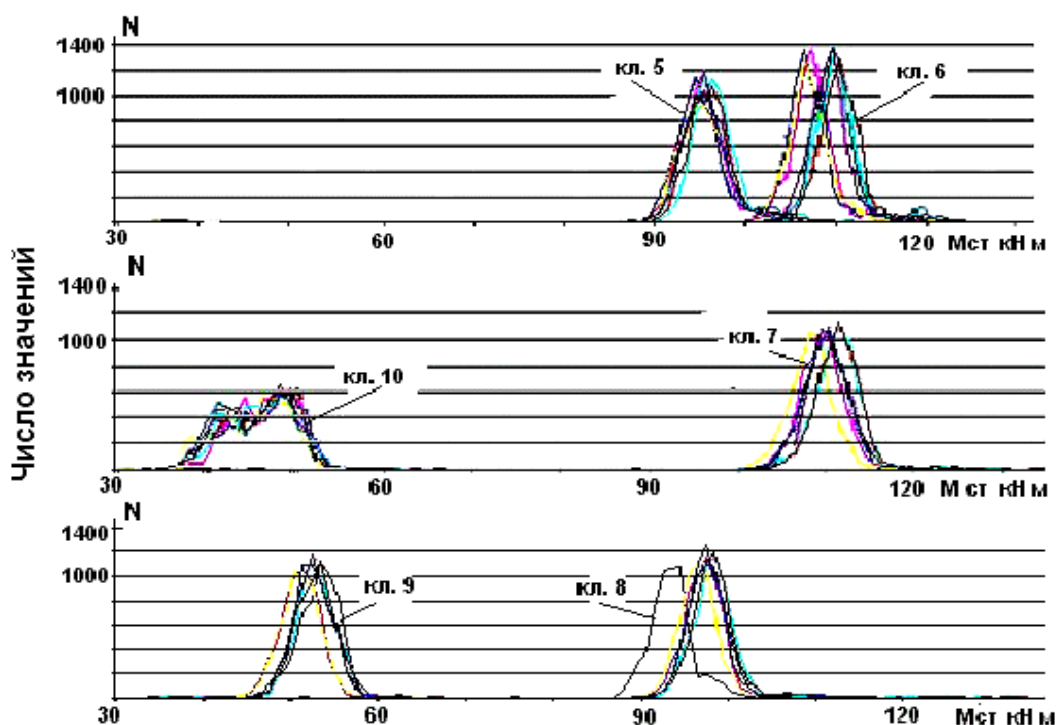


Рис. 3. Наложение шести распределений момента для полос, прокатанных последовательно в клетях № 5–№ 10

Нами впервые показана возможность и предложено совместно использовать три значения коэффициента вариации: $v_{ст}$ – среднего момента в установившемся режиме прокатки, v_δ и v_k – соответственно максимального динамического момента и коэффициента динамичности при захвате полосы валками для определения стабильности состояния оборудования и технологии прокатки. Информативность существенно повышается, если указанные коэффициенты вариации определять на основании измерений в нескольких клетях непрерывного

стана при прокатке партий полос одного сорта размера. Путем статистического моделирования и на примере результатов измерений определен диапазон изменения коэффициентов, разработан алгоритм определения стабильности работы оборудования и технологии прокатки.

В результате накопления данных измерений и их обработки по шести широкополосным станам горячей прокатки уточнена эмпирическая зависимость коэффициента динамичности K_M на участке между двигателем и редуктором от отношения двух низших собственных частот линии привода $K_M(n = \beta_2 / \beta_1)$ [7]. На её основе определяют насколько рационально выбраны конструктивные параметры линии главного привода, разработана методика их оптимизации.

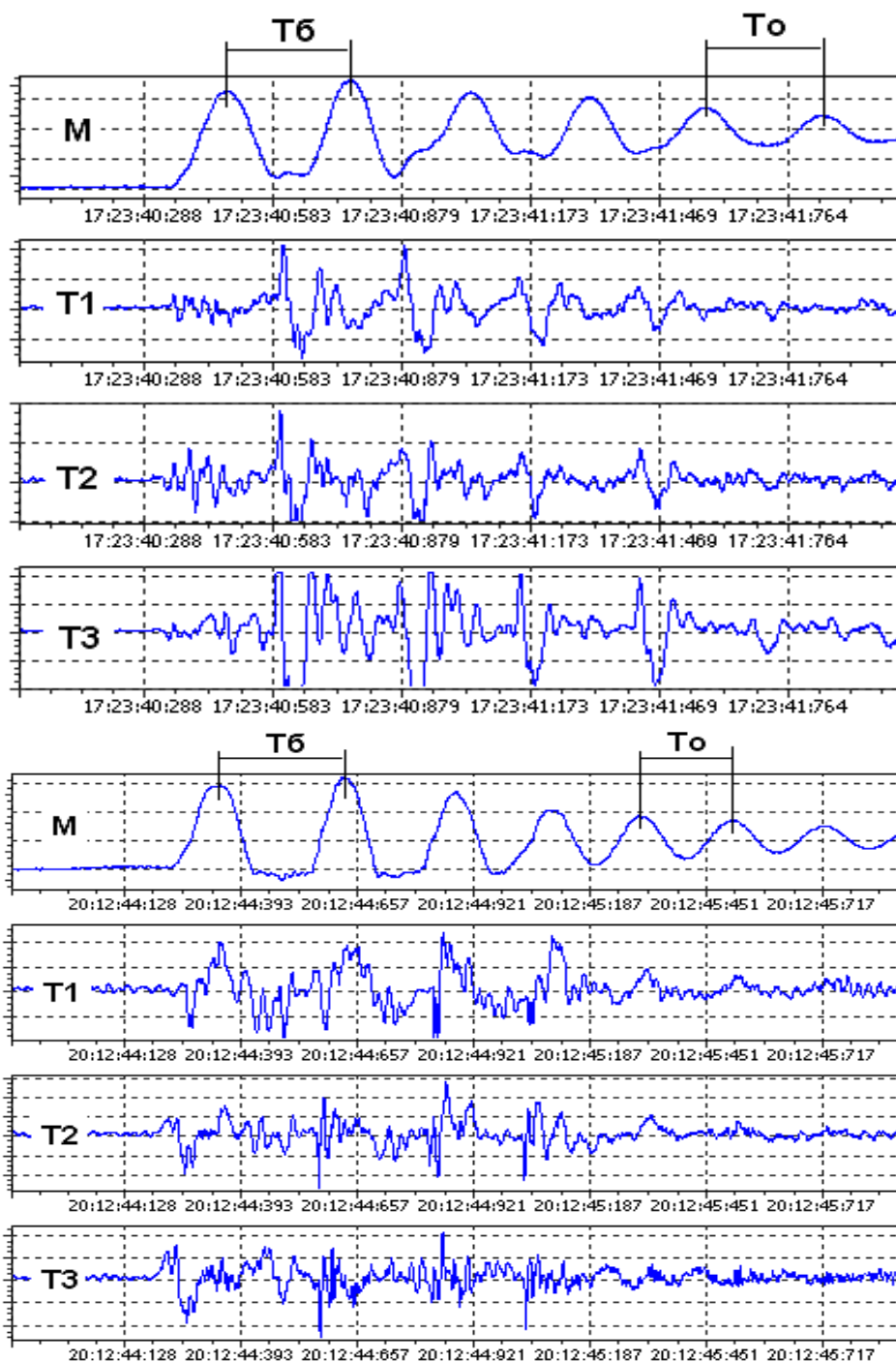


Рис. 4. Момент (M) и виброскорость в точках 1 и 2 (правая (T_1) и левая (T_2) опора вал-шестерни редуктора) и в точке 3 (крышка подшипника колеса редуктора (T_3) со стороны коренной муфты)

Впервые в клетях станов 1700 ММК и 1680 выполнены целенаправленные одновременные измерения момента сил упругости, вибрации корпусного оборудования в нескольких точках вдоль линии привода (рис. 4), перемещения подушек рабочих и опорных валков в проемах станины и усилий в анкерных болтах редуктора при захвате полосы валками. Установлен ряд особенностей колебательных процессов. На этом основании впервые предложено использовать такие параметры переходных процессов как коэффициент динамичности, время запаздывания реакции участков линии, частота (период) колебаний, коэффициенты вариации для диагностики технического состояния линии привода. Разработан ряд способов диагностирования угловых зазоров в шпindelном сочленении [1]. Один из них основан на отличии времени запаздывания реакции, например, моторного участка линии привода первой клетки, когда сначала здесь происходит захват полосы валками (состояние зазоров открытое), а затем при захвате полосы валками следующей клетки (во время прокатки зазоры в предыдущей клетке закрыты). Работоспособность и информативность основных способов проверена в промышленных условиях.

ВЫВОДЫ

Исследование динамических процессов в прокатных станах в ИЧМ вышло на новый методологический и технический уровень. Развитие целенаправленных промышленных исследований позволяет кроме решения традиционных задач (определение максимальных нагрузок, запасов прочности, установления причин поломок и др.), находить новые методы и способы диагностирования технического состояния оборудования клетей прокатных станов и определения стабильности технологического процесса с целью увеличения эффективности их работы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Большаков В. И. Уравнения движения и электронное моделирование механических систем с зазорами и упругими связями / В. И. Большаков // Модернизация и автоматизация оборудования прокатных станов : труды ИЧМ. – М. : Металлургия, 1967. – Т. XXVII. – С. 11–17.*
2. *Кожевников С. Н. Динамические нагрузки главных линий прокатных станов и учет этих нагрузок при расчетах на прочность и выносливость / С. Н. Кожевников, В. И. Большаков // Труды Первой Всесоюзной конференции по расчетам на прочность металлургических машин. – М. : ВНИИМетмаши, 1968. – № 23. – С. 28–46.*
3. *Опыт исследования динамики главных приводов прокатных станов с учетом упругих связей и зазоров / С. Н. Кожевников, П. Я. Скичко, А. Н. Ленский, В. И. Большаков, И. И. Леена // Динамика металлургических машин : труды ИЧМ. – М. : Металлургия, 1969. – Т. XXXI. – С. 5–13.*
4. *Диагностика и динамика прокатных станов / В. В. Веренев, В. И. Большаков, А. Ю. Путники, А. А. Коринь, С. В. Мацко. – Днепропетровск : ИМА-Пресс, 2007. – 144 с.*
5. *Динамические процессы в клетях широкополосного стана 1680 / Веренев В. В., Большаков В. И., Путники А. Ю., Манишин А. Г., Мацко С. В. – Днепропетровск : ИМА-Пресс, 2011. – 184 с.*
6. *Веренев В. В. Приложения исследований динамических процессов в прокатных станах к решению прикладных задач производства проката / В. В. Веренев, А. М. Юнаков // Труды четвертого конгресса прокатчиков. – М. : АО «Черметинформация», 2002. – С. 316–319.*
7. *Веренев В. В. Развитие теории и практики уменьшения динамических нагрузок и диагностики оборудования широкополосных станов : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В. В. Веренев. – Днепропетровск, 2011. – 38 с.*

Большаков В. И. – академик НАН Украины, дир. ИЧМ им. З.И. Некрасова НАН Украины;

Веренев В. В. – д-р техн. наук, ст. науч. сотрудник ИЧМ им. З. И. Некрасова НАН Украины;

Юнаков А. М. – науч. сотрудник ИЧМ им. З. И. Некрасова НАН Украины.

ИЧМ им. З. И. Некрасова НАН Украины – Институт черной металлургии имени З. И. Некрасова Национальной академии наук Украины, г. Днепропетровск.

E-mail: office.isi@nas.gov.ua; verenevV@mail.ru

Статья поступила в редакцию 15.10.2012 г.