

УДК 621.771.02.073.9

Талмазан В. А.
Кривцова О. Н.
Алешина Л. Н.
Арбуз А. С.

ТЕХНОЛОГИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВАЛКОВ НА ПРОКАТНЫХ СТАНАХ

Один из признанных путей сокращения расхода валков и продления их стойкости разработка новых и усовершенствование известных способов эксплуатации валков, в том числе комплектации валков и маршрутов их перемещения по клетям станов горячей и холодной прокатки [1]. Эксплуатация валков требует учитывать определенные закономерности их движения, начиная с создания запаса в цехе и кончая использованием отработанных валков [2].

Условия эксплуатации валков в клетях НШПС имеют существенные различия, обусловленные, в частности, температурой прокатываемой стали и степенью обжатий. С учетом этого комплектование валками клетей широкополосовых станов рекомендовано проводить с учетом преобладающего критерия служебных свойств валков применительно к условиям работы в этих клетях [3, 4].

Целью данной работы является оптимизация способов эксплуатации, выбор наилучших с точки зрения минимизации и экономии валков на станах горячей и холодной прокатки АО «АрселорМиттал Темиртау».

До 2001 г. в чистовых клетях НШПС-1700 горячей прокатки АО «АрселорМиттал Темиртау» использовали двухслойные легированные чугунные валки с отбеленным рабочим слоем, переходным слоем из половинчатого чугуна и сердцевиной из серого чугуна, толщиной отбеленного слоя от 10 мм до 30–32 мм. Тогда в чистовых клетях № 6–№ 8 использовали валки так называемого «старого» поколения ЛПХНд-62, ЛПХНд-63; в отделочных клетях № 9–№ 12 валки ЛПХНд-70, ЛПХНд-71, ЛПХНд-72, ЛПХНд -74, ЛПХНд -76. В последние 8–10 лет в чистовых клетях НШПС-1700 используют валки «нового» исполнения – NiCr и ICDP [5].

Дифференцированный подход, описанный в работах [3, 4] и используемый на АО «АрселорМиттал Темиртау» для чистовой группы НШПС-1700 горячей прокатки, позволил проанализировать качество материала и служебные свойства валков «нового» и «старого» поколений с учетом их термо- и износостойкости для предчистовых и отделочных клетей [6]. Эксплуатационные и служебные показатели для валков «нового» и «старого» поколений указаны в табл. 1 и 2. В работе [5] служебные свойства валков двух поколений исследовали с использованием критериев, указанных в табл. 1–2.

Таблица 1

Показатели эксплуатационных и служебных свойств валков НШПС-1700 «старого» исполнения

| Показатели | Исполнение валков | | | | |
|---|-------------------|------------|----------|----------|----------|
| | ЛПХНд-62 | ЛПХНд-н-62 | ЛПХНд-70 | ЛПХНд-72 | ЛПХНд-76 |
| Критерий износа K_i | 0,34 | 0,34 | 0,30 | 0,28 | 0,26 |
| Износостойкость в клетях 9–12, 10^3 т/мм | 10,3 | 10,4 | 12,2 | 13,1 | 3,4 |
| Критерий прочности K_n | 0,18 | 0,22 | 0,22 | 0,27 | 0,28 |
| Частота поломок валков в клетях 6–8, % | 23,6 | 11,6 | 12,5 | 11,9 | 11,2 |
| Критерий термостойкости K_m | 0,18 | 0,18 | 0,10 | 0,10 | 0,10 |
| Частота растрескивания валков в клетях 6–8, % | 8,5 | 8,2 | 14,8 | 12,9 | 12,4 |

На НШПС-1700 горячей прокатки листа АО «АрселорМиттал Темиртау» перемещение прокатных валков по клетям стана выполняют в соответствии с цеховой технологической инструкцией против хода прокатки, по мере выработки активного слоя и изменения

качества поверхности бочки. Причем для каждой рабочей клетки технологической инструкции задан определенный диапазон диаметров рабочих валков, связанный с установленными маршрутами их перемещения по клетям по мере перешлифовок.

Таблица 2

Показатели эксплуатационных и служебных свойств валков НШПС-1700 «нового» исполнения

| Показатели | Исполнение валков | |
|---|---------------------|---------------------|
| | Нi-Cr (6 – 8 клеть) | ICDP (9 – 12 клеть) |
| Критерий износа K_u | 0,62 | 0,86 |
| Износостойкость в клетях, 10^3 т/мм | 5,82 | 3,83 |
| Критерий прочности K_n | 1,23 | 1,47 |
| Частота поломок валков в клетях 6–8, % | 3,33 | 1,27 |
| Критерий термостойкости K_m | 0,28 | 0,09 |
| Частота растрескивания валков в клетях 6–8, % | 10,21 | 8,83 |

Анализ причин расходования активного слоя рабочих валков показал, что, наряду с причинами технологического характера, свыше 50 % активного слоя сошлифовывают с валков, удаленных из рабочих клеток при плановых перевалках, т. е. по естественному износу, причем средний съем за одну перешлифовку составляет 0,2–0,4 мм, что превышает нормативный слой (0,05–0,10 мм) в 2–5 раз [6].

Одна из причин перерасхода активного слоя валков заключается в том, что при подготовке валков к прокатке их комплектацию в пары для установки в рабочие клетки осуществляют непосредственно при шлифовке. При этом чтобы уложиться в допустимый диапазон разности диаметров бочек валков, сошлифовывают с валка большего диаметра лишний «здоровый» активный слой.

На НШПС-1700 при горячей прокатке подката для жести в клетях № 9–№ 12 были задействованы рабочие валки исполнения ICDP, а в клетях № 6–№ 8 – валки исполнения Нi-Cr (высокохромистые, содержание хрома > 16 %). При достаточном количестве высокохромистых валков они эксплуатировались в клетях № 6, 7, 8 стана при прокатке металла всех назначений. Данные статистического учета показывают, что на подгонку по диаметру расходуется 10–15 % активного слоя. Такая технология подготовки валков приводит к неоправданному росту их удельного расхода и, как следствие, к увеличению доли расходов по переделу в себестоимости продукции [5].

Авторы работ [7, 8] в соответствии с методикой [9, 10] определили текущие диаметры бочки, после достижения которых валки можно передавать в очередную клетку стана. В качестве критерия передачи валков из клетки в клетку применили вероятность P_i их безотказной работы в клетке. Длительность эксплуатации валков в каждой клетке определяли по планируемому уменьшению диаметров валков ΔD .

На рис. 1, 2 приведены графики интенсивности расхода рабочих валков на НШПС-1700 различного исполнения по мере уменьшения диаметра бочек (номинальный диаметр нового валка 710 мм, конечный диаметр – 664 мм), т. е. количество не вышедших из строя валков после достижения того или иного диаметра.

На основании полученных данных рассчитали следующие сроки передачи валков в очередную клетку стана после достижения рассчитанного диаметра бочки (табл. 3).

Обязательным элементом технологии эксплуатации прокатных валков является их периодическое, по мере износа, перемещение по клетям прокатного стана. При этом износ валков, уменьшение которого является одной из важнейших проблем прокатного производства, самым непосредственным образом зависит от маршрутов перемещений валков. Отсюда вытекает необходимость их исследования и дальнейшего усовершенствования.

Известен способ эксплуатации валков многоклетевых листовых станов, заключающийся в том, что новые валки используют в последней (отделочной) клетке, а затем, после частичного расхода рабочего слоя, передают в другие клетки, последовательно расположенные в направлении, противоположном ходу прокатки. При этом основным критерием перемещения валков из клетки в клетку являются их диаметры [11].

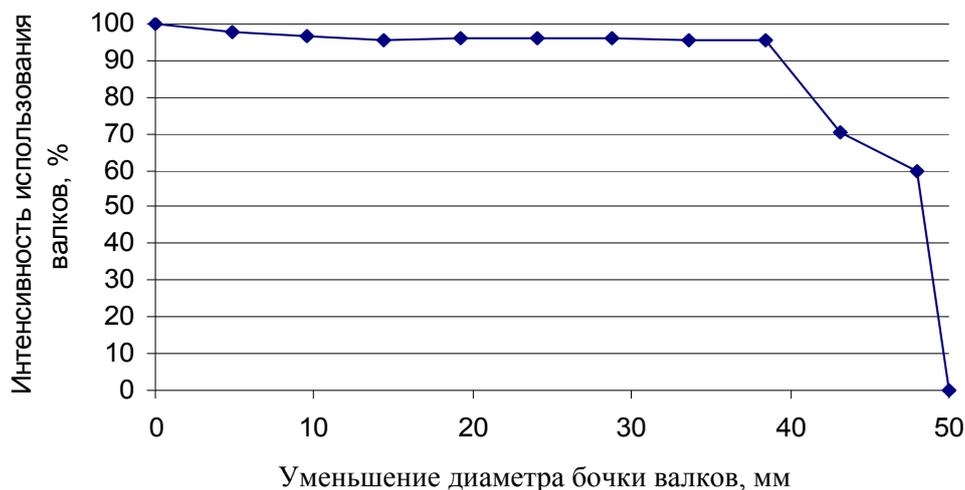


Рис. 1. Интенсивность использования валков исполнения ICDP в чистовых клетях № 9–№ 12

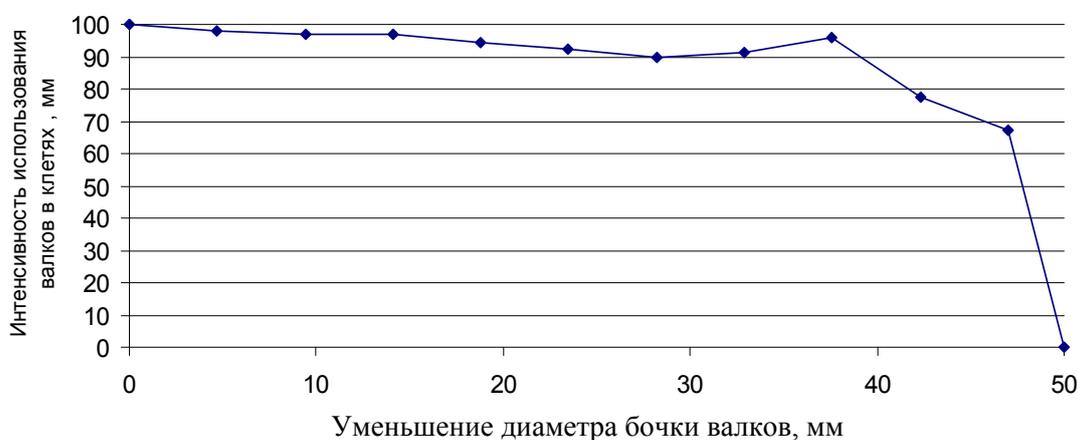


Рис. 2. Интенсивность использования валков исполнения Ni-Cr в чистовых клетях № 6–№ 8

Таблица 3

Сроки передачи валков в клетку стана НШПС-1700 горячей прокатки

| Клеть | Диапазоны диаметров валков, мм | |
|----------|--------------------------------|-----------|
| | Расчетный | По ТУ |
| Ni-Cr | | |
| 8 клеть | 710,0– 694,8 | 702 – 697 |
| 7 клеть | 694,8 – 678,7 | 697 – 694 |
| 6 клеть | 678,7 – 664,0 | 694 – 690 |
| ICDP | | |
| 11 клеть | 710,0 – 700,7 | 710 – 708 |
| 12 клеть | 700,7 – 691,2 | 708 – 703 |
| 11 клеть | 691,2 – 681,7 | 703 – 699 |
| 10 клеть | 681,7 – 672,3 | 699 – 696 |
| 9 клеть | 672,3 – 664,0 | 696 – 692 |

Критерием перемещения валков, характеризующим твердость поверхности бочки, может быть отношение фактического диаметра рабочих валков перед установкой в клетку к исходному диаметру. Получена зависимость износа поверхности бочки валков $\Delta R_U = f(D_{ФАК}/D_{ИСХ})$ от отношения фактического $D_{ФАК}$ и исходного $D_{ИСХ}$ диаметров валков.

Для предотвращения нарушения плоскостности полос в течение кампании валков необходимо, чтобы износ валков, как и коэффициент вытяжки, плавно уменьшались от максимальной величины в первой клетке чистовой группы до минимальной в последней [11, 12].

В работе [12] приведена номограмма, разработанная применительно к НШПС-1700, позволяющая определить номер клетки, в которую целесообразно заваливать валок в зависимости от глубины отбеленного слоя (числа перешлифовок). Полагается, что износ валков по клетям изменяется по прямой линии от максимального значения в первой клетке до минимального значения в последней клетке. Чтобы исключить отрицательное влияние вскрывающихся внутренних дефектов на качество поверхности полос, новые валки на одну-две кампании предложено задавать в предпоследнюю клетку.

Маршруты перемещения рабочих валков по клетям чистовой группы НШПС-1700, рассчитанные при помощи номограммы, позволили сгладить скачкообразный характер распределения износа валков по клетям, сократить расход валков и улучшить качество металла.

Авторы работы [9] предложили методику определения оптимального маршрута эксплуатации валков на многоклетевых станах при одинаковой периодичности плановых перевалок клетей. Варьируя последовательностью службы валков по клетям стана, определяют для каждого j -го периода службы и для каждой i -й клетки величины E_{ij} – эффективность использования рабочего слоя валка. Суммируя их, получают условную величину $\sum E_{ij}$, пропорциональную ожидаемому ресурсу используемых валков при выбранной последовательности использования валков по клетям стана. Тот маршрут, который из всех возможных (технологически приемлемых) позволит получить максимальную сумму величин E_{ij} , признается оптимальным, позволяющим при расходе данного числа валков прокатать максимальное количество металла.

На НШПС-1700 АО «АрселорМиттал Темиртау» перемещение прокатных валков по чистовым клетям стана выполняют против хода прокатки, по мере выработки активного слоя и изменения качества поверхности бочки, по следующим маршрутам (цифры – номера клетей, стрелки – направление перемещения от клетки к клетке):

- рабочих валков $11 \rightarrow 12 \rightarrow 10 \rightarrow 9 \rightarrow 8 \rightarrow 7 \rightarrow 6$;
- опорных валков $12 \rightarrow 11 \rightarrow 10 \rightarrow 9 \rightarrow 8 \rightarrow 7 \rightarrow 6 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$.

Маршрут перемещения рабочих валков предусматривает установку новых валков в клетку № 11, затем в клетку № 12 для выявления поверхностных дефектов: сетки разгара, отслоения, выкрошек. При глубоких повреждениях валков и по мере их перешлифовок этот порядок нарушается, так как диапазон активного слоя по диаметру, установленный для данной клетки, оказывается израсходованным при выведении дефектов. В этом случае валок после удаления повреждений переводят на ту клетку, которой соответствует его диаметр.

Оптимизация маршрутов перемещения рабочих валков чистовых клетей НШПС-1700 выполнена по критерию минимума суммарного износа рабочего слоя валков [13–15]:

$$\sum_1^n u_{kj} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где u_{kj} – величина износа рабочего слоя валка;

$k = 1, 2, \dots, K$ – номер клетки;

$j = 1, 2, \dots, J$ – этап эксплуатации.

При постановке задачи оптимизации использовалась работа [16].

Система ограничений обусловлена техническими требованиями к эксплуатации валков в клетях стана [17–19]:

$$\sum u_{(1)}(0) < \sum u_{(2)}(0) < \dots < \sum u_{(K)}(0); \quad (2)$$

$$K_{(1)}^H > K_{(2)}^H > \dots > K_{(K)}^H; \quad (3)$$

$$m \in M_D, \quad (4)$$

где (1), (2), ..., (K) – некоторая перестановка валков 1, 2, ..., K по клетям;

m – оптимальный маршрут перемещения;

M_D – множество допустимых маршрутов.

Условия (1)–(4) соответствуют задаче формирования множества допустимых маршрутов рабочих валков по клетям стана:

$$M_D \subset M_{(k)} \subset M_k, \quad (5)$$

где $M_{(k)}$ – множество всевозможных перемещений валков по клетям;

$M_k = M_{(1)} \cup M_{(2)} \cup \dots \cup M_{(k)}$ – количество вариантов перемещений.

Сформировать множество всевозможных вариантов перестановок валков $M_{(k)} = K!$ в K-клетях позволяет метод итерации.

Новые валки в начале эксплуатации имеют незначительное изменение диаметра. Поэтому целесообразно на этапе отбора клетей на начало маршрута ориентироваться на неравенство (2), а в дальнейшем учитывать требования (3), (4). В неравенстве (2) подстрочный индекс (1) соответствует клетям, в которых используются валки с наименьшей величиной суммарного износа. С наибольшей величиной суммарного износа используются валки в клетях с номером (K). Перестановка (1), (2), ..., (K), для которой выполнено неравенство (2), задает схему перемещения валков по клетям.

В заводской практике валки зачастую используются многократно в одной или в нескольких клетях стана. Если для каждой клетки установлено среднее количество перешлифовок K_k^{II} рабочих валков за время работы в каждой клетке, то для обеспечения высокого качества проката валки должны переваливаться и перешлифовываться чаще. Требуемый уровень качества проката обычно обеспечивается валками чистовых клетей, стоящими последними. Конкретная последовательность эксплуатации валков по клетям в этом случае определяется неравенством (3), которое отражает общую тенденцию движения парка валков по маршруту (1), (2), ..., (K).

На основе изложенного подхода авторами работы [17, 18] разработана компьютерная программа и решена задача оптимизации маршрута перемещений рабочих валков в чистовых клетях НШПС-1700 АО «АрселорМиттал Темиртау». Общее количество вариантов перемещений валков по клетям при указанных условиях составляет $M_k = 2160$, количество возможных (с учетом ограничений) вариантов $M_{(k)} = 248$, а количество условно-оптимальных – 7.

Оптимальный маршрут перемещения рабочих валков по чистовым клетям выбрали из условно-оптимальных маршрутов экспертным путем, учитывая конкретные технологические условия эксплуатации валков (табл. 4).

Таблица 4

Цеховой и оптимальный маршруты перемещений рабочих валков по клетям НШПС-1700

| № | Схема перемещения валков | Суммарный износ валков за время работы, мкм |
|---|------------------------------|---|
| 1 | 11 → 12 → 10 → 9 → 8 → 7 → 6 | 24 129,40 |
| 2 | 12 → 10 → 11 → 7 → 6 → 8 → 9 | 23 627,19 |

Оптимальный маршрут, характеризующийся меньшим суммарным износом валков по сравнению с цеховым маршрутом, представлен в табл. 4 под № 4. Расчетное уменьшение суммарного износа валков за время работы по предлагаемому маршруту по отношению к цеховому составит 3,2 %, чему эквивалентно снижение удельного расхода валков на 0,031 кг/т.

Таким образом, рассмотрены наиболее известные маршруты перемещений валков по клетям прокатных станов. Показана целесообразность оптимизации маршрутов по критерию минимума износа валков. Для НШПС-1700 АО «АрселорМиттал Темиртау» рассчитан оптимальный маршрут, минимизирующий суммарный износ рабочих валков чистовых клетей стана за период эксплуатации.

Сокращение расхода прокатных валков является перспективным направлением и для станов холодной прокатки, поэтому по-прежнему актуальны вопросы исследования способов эксплуатации прокатных валков – комплектация используемых валков различного исполнения, математическое моделирование маршрутов их перемещения по клетям [10–12, 20–22].

Необходимость получения качественной поверхности холоднокатаных полос и создание благоприятных условий эксплуатации валков – основные критерии, учитываемые при разработке и моделировании рациональных маршрутов их движения, комплектации по клетям станов холодной прокатки.

Рациональный маршрут движения валков по клетям стана уменьшает количество перевалок, увеличивает срок их эксплуатации.

Авторы работы [23, 24] разработали критерии передачи валков из клетки в клетку по мере уменьшения диаметров бочек валков по станам холодной прокатки ЛПЦ-3 АО «АрселорМиттал Темиртау».

Для этого выполнили статистический анализ работоспособности 92 рабочих валков, задействованных на стане бесконечной прокатки 1400, дрессировочном ДС-1400 и прокатно-дрессировочном ПДС-1400 станах. Материал валков – сталь 60Х2СМФ и 8Х2СГФ. В настоящее время валки исполнения 60Х2СМФ поставляются заводо-изготовителем ПАО «НКМЗ»; валки исполнения 8Х2СГФ – УЗТМ. За исследуемый период на станах ЛПЦ-3 с использованием указанных валков было произведено 2408612 т холоднокатаного металла различного сортамента.

При моделировании передачи валков из клетки в клетку по мере уменьшения их диаметров воспользовались методикой, учитывающей интегральный ресурс всех израсходованных валков [9]. Итак, при назначении маршрута движения валков по клетям станов холодной прокатки ЛПЦ-3 можно рекомендовать критерии передачи валков из клетки в клетку – диапазоны уменьшения диаметров бочек (табл. 5), обеспечивая постоянную и равномерную комплектацию валками все станы, что облегчает условия их эксплуатации.

Таблица 5

Критерии передачи рабочих валков из клетки в клетку станов холодной прокатки ЛПЦ-3

| Станы ЛПЦ-3 | Период эксплуатации валков по диапазонам уменьшения диаметров бочек, мм | Уменьшение диаметра валков при планируемом использовании валков в клетке, мм | Число валков, дорабатывающих в данной клетке до передачи в следующую клетку $Y = f(X)$, % |
|------------------------------|---|--|--|
| Дрессировочный стан | 607,20-606,13 | 1,07 | 89,04 |
| Прокатно-дрессировочный стан | 606,13-604,93 | 1,20 | 79,21 |
| Стан 1400, клетка № 6 | 604,93-603,57 | 1,36 | 68,98 |
| Стан 1400, клетка № 5 | 603,57-601,99 | 1,58 | 58,25 |
| Стан 1400, клетка № 4 | 601,99-600,07 | 1,92 | 46,85 |
| Стан 1400, клетка № 3 | 600,07-597,59 | 2,48 | 34,50 |
| Стан 1400, клетка № 2 | 597,59-593,88 | 3,71 | 20,54 |
| Стан 1400, клетка № 1 | 593,88-579,76 | 14,12 | 0,02 |

С использованием модели передачи валков из клетки в клетку оценили условия эксплуатации валков станов холодной прокатки и рекомендовали допустимое уменьшение диаметров бочек.

ВЫВОДЫ

Таким образом, кафедрой «Обработка металлов давлением» Карагандинского государственного индустриального университета на протяжении ряда лет проводилось исследование валков прокатных станов АО «АрселорМиттал Темиртау» в указанных направлениях. Получены определенные результаты, требующие на наш взгляд некоторого обобщения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приходько В. П. Проблемы эксплуатации валков прокатных станов / В. П. Приходько // *Прокатное производство*. – 1985. – № 8. – С. 45–47.
2. Боровик Л. И. Технология подготовки и эксплуатации валков тонколистовых станов / Л. И. Боровик, А. И. Добронравов. – М., 1984. – 104 с.
3. Рудницкий Л. С. Критерии оценки служебных свойств чугунных валков / Л. С. Рудницкий // *Сталь*. – 1985. – С. 444–448.
4. Дифференцированный подбор валков для широкополосных станов / Л. С. Рудницкий, В. А. Рафальский, А. А. Черновол [и др.] // *Сталь*. – 1986. – № 7. – С. 57–58.
5. Найзабеков А. Б. Рабочие чистовые валки широкополосовых станов горячей прокатки / А. Б. Найзабеков, В. А. Талмазан, О. Н. Кривцова // *Науч. журнал КарМетИ*. – Темиртау, 2004. – № 2 (6). – С. 104–109.
6. Эволюция материала и свойств прокатных валков / Найзабеков А. Б., Зиновьев А. В., Кривцова О. Н. [и др.] // *Науч. журнал РГП «КГИУ»*. – Темиртау, 2009. – № 2 (16). – С. 200–203.
7. Найзабеков А. Б. Комплектация рабочих валков на НШПС-1700 / А. Б. Найзабеков, О. Н. Кривцова, В. А. Талмазан // *Науч. журнал*. – Темиртау, 2006. – № 2 (10). – С. 93–101.
8. Кривцова О. Н. Комплектация прокатных валков чистовых клетей НШПС-1700 / О. Н. Кривцова, В. А. Талмазан, Ю. Н. Новиков // *Тез. докл. Межд. студ. конф. «Конкурентоспособные технологии как стержень инновационной экономики Республики Казахстан» в рамках УШ регион. фестиваля студентов «Молодежь – будущее Казахстана»*. – Караганда : МГТУ, 2006. – С. 209–210.
9. Трейгер Е. И. Оптимизация эксплуатации чугунных валков для горячей прокатки листа / Е. И. Трейгер // *Сталь*. – 1992. – № 5. – С. 54–55.
10. Разработка рационального маршрута эксплуатации рабочих валков по клетям станов 1680 холодной прокатки / Трейгер Е. А., Тилик В. Т., Овчаров И. Г. [и др.] // *Сталь*. – 1981. – № 7. – С. 45–50.
11. Матюха Л. Г. Совершенствование маршрута движения валков по клетям / Л. Г. Матюха, Е. Б. Тен, П. П. Чернов // *Черная металлургия. Бюл. НТИ*. – 1979. – № 11. – С. 39–40.
12. Профилирование валков листовых станов / Будакова А. А., Коновалов Ю. В., Ткалич К. Н. [и др.]. – Киев, 1986. – 190 с.
13. Найзабеков А. Б. Оптимизация маршрута перемещения рабочих валков по чистовым клетям стана горячей прокатки листа 1700 / А. Б. Найзабеков, В. А. Талмазан, О. Н. Кривцова // *Науч. журнал КарМетИ*. – Темиртау, 2003. – № 1 (14). – С. 86–90.
14. Найзабеков А. Б. Маршруты перемещения валков и их усовершенствование / А. Б. Найзабеков, В. А. Талмазан, О. Н. Кривцова // *Науч. журнал КарМетИ*. – Темиртау, 2004. – № 2 (6). – С. 99–104.
15. Найзабеков А. Б. Программа оптимизации маршрута перемещения прокатных валков / А. Б. Найзабеков, В. А. Талмазан, О. Н. Кривцова // *Науч. тр. Межд. симпозиума МАИ, КарГТУ*. – Караганда : Изд-во КарГТУ, 2008. – С. 213–215.
16. Трейгер Е. И. Повышение качества и эксплуатационной стойкости валков листовых станов / Е. И. Трейгер, В. П. Приходько. – М., 1988. – 192 с.
17. Носик Ф. С. Оптимизация процессов прокатки технологии металла методами планирования экспериментов / Ф. С. Носик, Я. Б. Арсов. – М., 1980. – 304 с.
18. Подиновский В. В. Паретно-оптимальные решения многокритериальных задач / В. В. Подиновский, В. Д. Ногин. – М., 1982. – 254 с.
19. Методы и алгоритмы автоматизированного проектирования сложных систем управления / Волкович В. Л., Волошин А. Ф., Горлова Т. М. [и др.]. – Киев, 1984. – 216 с.
20. Беньковский М. А. Стойкость валков холодной прокатки и качество тонколистовой продукции / М. А. Беньковский, Л. И. Бутылкина // *Сталь*. – 1976. – № 6. – С. 526–529.
21. Надежность и долговечность валков холодной прокатки / В. П. Полухин, В. А. Николаев, М. А. Тылкин [и др.]. – М. : Металлургия, 1976. – 448 с.
22. Шляпин В. И., Боровик Л. И., Жильцов А. П. // *Науч. тр. ВПИ*. – Воронеж, 1981. – С. 117–121.
23. Найзабеков А. Б. Маршруты движения и комплектация валков станов холодной прокатки / А. Б. Найзабеков, О. Н. Кривцова, В. А. Талмазан // *Науч. журнал РГП «КГИУ»*. – Темиртау, 2010. – № 1 (17).
24. Моделирование маршрутов движения и комплектации валков на станах холодной прокатки / Найзабеков А. Б., Кривцова О. Н., Талмазан В. А. [и др.] // *Тез. докл. Межд. науч. конф. «Теоретические и прикладные проблемы математики, механики и информатики»*. – КарГУ им. академика Е. А. Букетова. – Караганда, 2010.

Талмазан В. А. – канд. техн. наук, доц. КГИУ;
Кривцова О. Н. – канд. техн. наук, ст. преп. КГИУ;
Алешина Л. Н. – преп. КГИУ;
Арбуз А. С. – магистр КГИУ.

КГИУ – Карагандинский государственный индустриальный университет, г. Темиртау, Республика Казахстан.

E-mail: KRIVCOVA60@mail.ru

Статья поступила в редакцию 15.01.2013 г.