

УДК 621.771

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВАЛКОВ НА ПРОКАТНЫХ СТАНАХ АО «АРСЕЛОРМИТТАЛ ТЕМИРТАУ»

Талмазан Виталий Антонович, канд. техн. наук; Кривцова Ольга Николаевна, канд. техн. наук; Гельманова Зоя Салиховна, канд. экон. наук; Карагандинский государственный индустриальный университет, г. Темиртау, [krivcova60@mail.ru](mailto:krivcova60@mail.ru)

Вивенцов Александр Семенович, менеджер по горячей прокатке сектора по новой продукции Центра-ЦЗЛ, г. Темиртау АО «АрселорМиттал Темиртау»;

Арбуз Александр Сергеевич, докторант PhD, Казахский национальный университет им.

Аль-Фараби, г. Алматы [zubra\\_kz@mail.ru](mailto:zubra_kz@mail.ru)

### Аннотация

Рассмотрены пути сокращения расхода валков и продления их стойкости, пути разработки новых и усовершенствования известных способов эксплуатации валков, в том числе комплектации валков и маршрутов их перемещения по клетям станов горячей и холодной прокатки. Эксплуатация валков требует учитывать определенные закономерности их движения. С учетом этого, для НШПС-1700 АО «АрселорМиттал Темиртау», рассчитан оптимальный маршрут, минимизирующий суммарный износ рабочих валков чистовых клетей стана за период эксплуатации. Для станов холодной прокатки ЛПЦ-3 с использованием модели критерия передачи валков из клетки в клетку оценили условия эксплуатации валков этих станов, и рекомендовали допустимое уменьшение диаметров валков при использовании в каждой клетке станов холодной прокатки.

**Ключевые слова:** валки станов холодной прокатки, валки станов горячей прокатки, эксплуатация валков, износ валков.

### IMPROVING TECHNOLOGY OF EXPLOITATION ROLLS ON ROLLING MILLS JSC "ARSELORMITTAL TEMIRTAU"

Talmazan V.A., PhD; Krivtsova O.N., PhD; Gelmanova Z.S. PhD; Viventsov A.S.; A.S. Arbutz,  
*Abstract*

Considered ways reducing the flow rate of the rolls and extend their durability, the development of new ways to improve known methods and operating rollers, including the configuration of the rolls and their movements on route stands of hot rolling and cold rolling. Exploitation of the rolls need to take account of certain patterns of its movement. With this in mind, for HRM-1700 JSC "ArcelorMittal Temirtau" to calculate the optimal route that minimizes the total wear a roll mill finishing stands for the period of operation. For cold rolling mills of CRM-3 shop, we using a criteria model of the transfer roll cage to cage rated operating conditions of the rolls of these

mills, and recommended reducing the allowable diameter rolls for use in every stand cold rolling mills.

**Keywords:** rolls of cold rolling, rolls of hot rolling mill, exploitation of rolls, wear of the rolls.

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 (перезакалкой, переточкой на другие размеры или переводом в металлолом) [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].

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 - HiCr и ICDP [5].

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

Авторами работы [6] установлено, что в отделочных клетях наибольшую износостойкость и прочность продемонстрировали валки «старого» исполнения ЛПХНд-76, а в начальных клетях чистовой группы валки «старого» исполнения - ЛПХНд-62. Из валков «нового» поколения, работающих в отделочных клетях износостойкость и прочность по сравнению с валками «старого» поколения продемонстрировали валки исполнения ICDP.

Применительно к начальным клетям чистой группы наилучшими показателями износостойкости, прочности, термостойкости характеризуются валки «нового» исполнения Ni-Cr, что обеспечивает значительное увеличение стойкости валков и позволяет достаточно точно спрогнозировать время их перевалки.

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 $K_n$	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 $K_p$	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 $K_t$	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

Таблица 2. Показатели эксплуатационных и служебных свойств валков НШПС-1700 «нового» исполнения

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

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

инструкцией задан определенный диапазон диаметров рабочих валков, связанный с установленными маршрутами их перемещения по клетям по мере перешлифовок.

Анализ причин расходования активного слоя рабочих валков показал, что, наряду с причинами технологического характера, свыше 50% активного слоя сошлифовывают с валков, удаленных из рабочих клетей 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 допускаемый 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 Ni-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 клеть стана. В качестве критерия передачи валков из клетки в клеть применяли вероятность  $P_j$  их безотказной работы в клетях. Длительность эксплуатации валков в каждой клетях определяли по планируемому уменьшению диаметров валков  $\Delta D$ .

На рис. 1, 2 приведены графики интенсивностей расхода в 2004-2005 годах на НШПС-1700 рабочих валков 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.

Интенсивность использования валков исполнения ICDP в чистовых клетях № 9 - № 12 в зависимости от уменьшения диаметра бочек валков

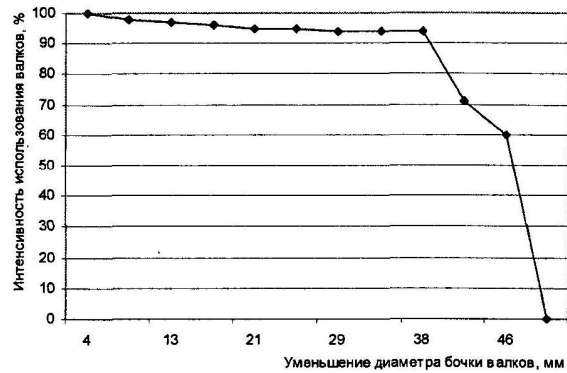


Рис. 1. Интенсивность использования валков исполнения Ni-Cr в чистовых клетях № 6 - № 8 в зависимости от уменьшения диаметра бочек валков

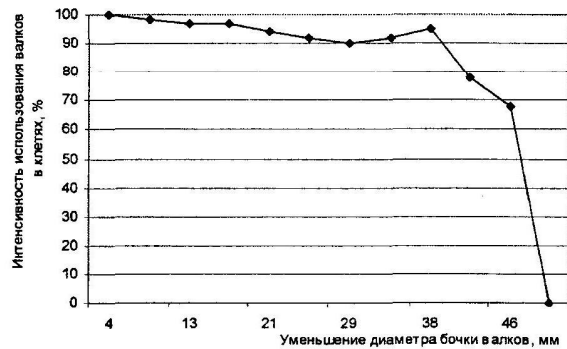


Рис. 2. Уменьшение диаметра бочек валков, мм

На основании полученных данных рассчитали следующие сроки передачи валков в очередную клеть 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, заключающейся 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 клеть являются их диаметры [11].

Таблица 3. Сроки передачи валков в клетку стана НШПС-1700 горячей прокатки

Этап эксплуатации в клетке	Диапазон изменения диаметра бочки, мм (расчетный)	Сроки передачи валков в клетку по ТУ, мм
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 рабочих валков  $\Delta R_{и} = f(D_{фак}/D_{исх})$  от отношения фактического  $D_{фак}$  и исходного  $D_{исх}$  диаметров валков. Для предотвращения нарушения плоскостности полос в течение кампании валков необходимо, чтобы износ рабочих 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 многоклетевых станов при одинаковой периодичности плановых перевалок клетей. Варьируя (исходя из определенных технологических соображений) последовательностью службы валков по клетям стана, определяют для каждого  $j$ -того периода (этапа) службы и для каждой  $i$ -той клетки величины  $E_{ij}$  - эффективность использования рабочего слоя валка. Суммируя их, получают условную величину  $\Sigma E_{ij}$ , пропорциональную ожидаемому ресурсу (общей наработке) используемых валков при выбранной последовательности использования валков по клетям стана. Тот маршрут, который из всех возможных (технологически приемлемых) позволит получить максимальную сумму величин  $E_{ij}$  (при условии, что валки не возвращаются в клетки, где ранее работали), 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 означают номера клетей, стрелки - направление перемещения от клетки к клетям):

-рабочих валков - 11 → 12 → 10 → 9 → 8 → 7 → 6;

-опорных валков - 12 → 11 → 10 → 9 → 8 → 7 → 6 → 5 → 4 → 3 → 2 → 1.

Маршрут перемещения рабочих валков предусматривает установку новых валков в клеть №11, затем в клеть №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 клеть, которой соответствует его диаметр.

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

$$\sum_{k=1}^n u_{ki} \rightarrow \min \quad (1)$$

где  $u_{ki}$  - величина износа рабочего слоя валка;  $k = 1, 2, \dots$ ,

$K$  - номер клетки;  $j = 1, 2, \dots, J$  - этап эксплуатации.

При постановке задачи оптимизации использовались работы [16].

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

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

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

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

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  $K_k^П$  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 на языке программирования Turbo Pascal и решена задача оптимизации маршрута перемещений рабочих валков чистовых клетей 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 чистовым клетям НШПС-1700

№ п/п	Схема перемещения валков	Суммарный износ валков за время работы, мкм
1	11 → 12 → 10 → 9 → 8 → 7 → 6	24129,40
2	12 → 10 → 11 → 7 → 6 → 8 → 9	23627,19

Оптимальный маршрут, характеризующийся меньшим суммарным износом валков по сравнению с цеховым маршрутом, представлен в таблице 2 под № 2. 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 клеток 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 заводом - изготовителем НКМЗ; валки исполнения 8Х2СГФ - УЗТМ. За период с декабря 2007 г. по март 2009 г. 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 (таблица 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 в процессе эксплуатации

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 критерия передачи валков из клетки в клетку оценили условия эксплуатации валков станов холодной прокатки, и рекомендовали допустимое уменьшение диаметров валков при использовании в каждой клетке станов холодной прокатки ЛПЦ-3 АО «АрселорМиттал Темиртау».

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.

#### Библиографический список

- 1 Приходько В.П. Проблемы эксплуатации валков прокатных станов // Прокатное производство, 1985, М. С. 45-47.
- 2 Боровик Л.И., Добронравов А.И. Технология подготовки и эксплуатации валков тонколистовых станом. М., 1984, 104 с.
- 3 Рудницкий Л.С. Критерии оценки служебных свойств чугуновых валков// Сталь, 1985, С.444-448.
- 4 Рудницкий Л.С., Рафальский В.А., Черновол А.А. и др. Дифференцированный подбор валков для широкополосных станом// Сталь, 1986, №7, С.57-58.
- 5 Найзабеков А.Б., Талмазан В.А., Кривцова О.Н. Рабочие чистовые валки широкополосовых станом горячей прокатки// Науч. Журнал КарМетИ. Темиртау. 2004. «2(6), С.104-109.
- 6 Найзабеков А.Б., Зиновьев А.В., Кривцова О.Н. и др. Эволюция материала и свойств прокатных валков// Науч. журнал РГП «КГИУ». Темиртау, 2009, №2(16), С.200-203.
- 7 Найзабеков А.Б., Кривцова О.Н., Талмазан В.А. Комплектация рабочих валков на НШПС-1700// Науч. журнал. Темиртау. 2006. №2(10), С.93-101.
- 8 Кривцова О.Н., Талмазан В.А., Новиков Ю.Н. Комплектация прокатных валков чистовых клетей НШПС- 1700. Тез. докл. Межд. студ. конф. «Конкурентоспособные технологии как стержень инновационной экономики Республики Казахстан» в рамках УІІІ регион, фестиваля студентов «Молодежь - будущее Казахстана». МГТУ. Караганда, 2006, С.209-210.
- 9 Трейгер Е.И. Оптимизация эксплуатации чугуновых валков для горячей прокатки листа. //Сталь, 1992 г, №5, С.54-55.
- 10 Трейгер Е.А., Тилик В.Т., Овчаров И.Г. и др. Разработка рационального маршрута эксплуатации рабочих валков по клетям станом І680 холодной прокатки // - Сталь, 1981, №7, С.45-50.
- 11 Матюха Л.Г., Тен Е.Б., Чернов П.П. Совершенствование маршрута движения валков по клетям// Черная металлургия, Бюл. НТИ, 1979, № 11, С.39-40.
- 12 Будаева А.А., Коновалов Ю.В., Ткалич К.Н. и др. Профилирование валков листовых станом. Кисв , 1986. 190 с.
- 13 Найзабеков А.Б., Талмазан В.А., Кривцова О.Н. Оптимизация маршрута перемещения рабочих валков по чистовым клетям стана горячей прокатки листа 1700// Науч. журнал КарМетИ. Темиртау, 2003, №1(4), С. 86-96,
- 14 Найзабеков А.Б., Талмазан В.А., Кривцова О.Н. Маршруты перемещения валков и их усовершенствование// Науч. Журнал КарМетИ. Темиртау, 2004, № 2(6), С.99-104.
- 15 Найзабеков А.Б., Талмазан В.А., Кривцова О.Н. Программа оптимизация маршрута перемещения прокатных валков // Науч. тр. Межд. симпозиума МАИ, КарГТУ. Караганда: Изд-во КарГТУ, 2008, с. 213-215.
- 16 Трейгер Е.И., Приходько В.П. Повышение качества и эксплуатационной стойкости валков листовых станом. М., 1988, 192 с.
- 17 Носик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов прокатки технологии металла методами планирования экспериментов. М., 1980, 304с.
- 18 Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М., 1982, 254 с.

19 Волкович В.Л., Волошин А.Ф., Горлова Т.М. и т.д. Методы и алгоритмы автоматизированного проектирования сложных систем управления. Киев, 1984, 216 с.

20 Беньковский М.А., Бутылкина Л.И. Стойкость валков холодной прокатки и качество тонколистовой продукции. - Сталь, 1976, №6, с.526-529.

21 В.П. Полухин, В.А. Николаев, М.А. Тылкин и др. Надежность и долговечность валков холодной прокатки. - 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., Кривцова О.Н., Талмазан В.А. Маршруты движения и комплектация валков станом холодной прокатки// Науч. журнал РГП «КГИУ». Темиртау, 2010, №1(17).

24 Найзабеков А.Б., Кривцова О.Н., Талмазан В.А. и др. Моделирование маршрутов движения и комплектации валков на станом холодной прокатки// Тез. докл. Межд. Науч. Конф. «Теоретические и прикладные проблемы математики, механики и информатики». КарГУ им. академика Е.А. Букетова. Караганда, 2010.