**Методика расчета режимов холодной прокатки полос на многоклетьевом стане, обеспечивающих снижение себестоимости продукции листопрокатного цеха. Сообщение 1.**

**А.И. Божков, Д.А. Ковалев, В.С. Потапов, Р.И. Шульгин**

*Аннотация:* Представлена методика расчёта режимов холодной прокатки полос на многоклетьевом (реверсивном) стане, которые могут обеспечить минимальный расход электроэнергии при максимальной стабилизации процесса на высоких скоростях и получение заданного качества холоднокатанных полос (минимум вероятности образования дефектов поверхности, соответствие допусков по толщине и плоскостности требованиям используемых стандартов). Задача решена с помощью метода условной оптимизации. В качестве критерия оптимизации предложено использовать суммарный расход энергии, затрачиваемой на процесс прокатки, в качестве условий технологические и конструкционные ограничения на параметры прокатки и условия устойчивости полос в отношении обрывов и образования дефектов поверхности. Решение о разработке данной инновационной методики обусловлено тем, что большое число существующих подходов к расчету и проектированию режимов прокатки имеют видимые достоинства и недостатки. Во многих случаях разработчики стремятся учесть одновременно несколько требований, обеспечивающих устойчивость процесса прокатки, качество проката, условия эксплуатации оборудования, снижение расхода энергии, металла, вспомогательных материалов и заданную (максимальную) производительность стана. Однако некоторые из этих требований могут быть противоречивыми и наилучшим будет тот режим, который с высокой степенью вероятности гарантирует выполнение, в определенной пропорции, всего комплекса требований. Таковой является представленная методика расчета. Расчет режимов холодной прокатки сводился к выбору и распределению обжатий по клетям (проходам – на реверсивном стане) и выбору натяжений полосы в межклетевых промежутках, на разматывателе и моталке, а также в задании клина скоростей в конкретной системе ограничений, накладываемых на входные и выходные переменные процесса в функции принятого критерия оптимальности. Как было отмечено ранее, задача решена с помощью метода условной оптимизации, то есть с заданием критерия оптимизации. В качестве критерия оптимизации предложено использовать суммарный расход энергии, затрачиваемой на процесс прокатки, в качестве условий технологические и конструкционные ограничения на параметры прокатки и условия устойчивости полос в отношении обрывов и образования дефектов поверхности.

*Ключевые слова:* холодная прокатка, режим прокатки, работа (энергия) прокатки, расход электроэнергии, параметры прокатки, толщина, плоскостность, обрывы полос, дефекты, поверхность, регулирование, устойчивость, оптимизация, алгоритм, методика.

**The method of calculation the cold rolling schedules of strips on multiple-stand rolling mill ensuring a reduction in the cost of production of sheet rolling plant. Message 1.**

**A.I. Bozhkov, D.A. Kovalev, V.S. Potapov, R.I. Shulgin**

*Abstract*: A method of calculating the cold rolling schedules of strips on a multiple-stand rolling (reversible) mill is provided which can provide a minimum power consumption with maximum process stabilization at high speeds and obtaining a given quality of cold-rolled strips (minimum probability of surface defects, compliance with thickness tolerances and flatness requirements of the standards used). The problem is solved using the conditional optimization method. As an optimization criterion, it is proposed to use the total energy expenditure spent on the rolling process, as conditions, technological and structural limitations on the rolling parameters and the conditions for the stability of the strips with respect to breaks and the formation of surface defects. The decision to develop this innovative method is due to the fact that a large number of existing approaches to the calculation and design of rolling regimes have visible advantages and disadvantages. In many cases, the developers are trying to take into account several requirements that ensure the stability of the rolling process, the quality of the rolling, the operating conditions of the equipment, the reduction of energy consumption, the metal, the auxiliary materials and the specified (maximum) mill productivity. However, some of these requirements can be contradictory and the best one will be the regime that with a high degree of probability guarantees the fulfillment, in a certain proportion, of the entire set of requirements. This is the method of calculation presented. The calculation of the cold rolling regimes was limited to the selection and distribution of the crimping along the cages (the passages were in the reverse mill). Also, the strip strains are selected in the intercellular spaces, on the decoiler and coiler, and in setting the speed wedge in a particular system of constraints imposed on the input and output process variables as a function of the adopted optimality criterion. As it was noted earlier, the problem was solved with the help of the conditional optimization method, that is, with the specification of the optimization criterion. As an optimization criterion, it is proposed to use the total energy expenditure spent on the rolling process, as conditions, technological and structural limitations on the rolling parameters and the conditions for the stability of the strips with respect to breaks and the formation of surface defects.

*Keywords:* cold rolling, rolling schedule, work of rolling, power consumption, rolling parameters, thickness, flatness, strip breaks, defects, surface, regulation, stability, optimization, algorithm, method.

Целью работы является построение методики расчета режимов холодной прокатки полос на многоклетьевом стане, обеспечивающих снижение себестоимости продукции листопрокатного цеха металлургического комбината.

Существует большое число подходов к расчету и проектированию режимов прокатки (см., например, [1-5,15 и др.]), имеющих видимые достоинства и недостатки. Во многих случаях разработчики стремятся учесть одновременно несколько требований, обеспечивающих устойчивость процесса прокатки, качество проката, условия эксплуатации оборудования, снижение расхода энергии, металла, вспомогательных материалов и заданную (максимальную) производительность стана. При этом некоторые из этих требований могут быть противоречивыми и наилучшим будет тот режим, который с высокой степенью вероятности гарантирует выполнение, в определенной пропорции, всего комплекса требований [13,16].

Расчет режимов холодной прокатки заключается в выборе и распределении обжатий по клетям (проходам – на реверсивном стане), выборе натяжений полосы в межклетевых промежутках, на разматывателе и моталке, а также в задании клина скоростей в конкретной системе ограничений, накладываемых на входные и выходные переменные процесса в функции принятого критерия оптимальности [1,2,4].

Опыт эксплуатации современных станов холодной прокатки показывает, что при наличии автоматизированных систем проектирования режимов, оператор всё-таки больше надеется на собственный опыт и знания. Связано это прежде всего с тем, что результаты расчетов не дают нужных практических результатов.

Для персонала стана приоритетными являются задачи выполнения производственного плана, получения проката с заданными геометрическими показателями и не превышения установленных норм соответствующих статей затрат и расходов калькуляции продукции [13,18,19].

В данной статье авторы предлагают методику расчета режимов прокатки, которые максимально приближены к решению перечисленных практических задач.

Решение основной поставленной задачи – снижение себестоимости продукции – связано с необходимостью тщательного анализа статей калькуляции применительно к стану и оценки его производительности.

Из всех статей калькуляции с режимом прокатки можно связать расход электроэнергии, измеряемый по нагрузке на двигатели прокатного стана и зависящий от мощности, расходуемой на реализацию процесса, которая со свою очередь, определяется размерами полосы, средним давлением, обжатием и скоростью [6,7].

Расход металла, вспомогательных материалов и других энергоресурсов (пар, сжатый воздух, вода и пр.) зависят в основном от работы систем автоматизации (в частности, САРТ) и организации работы прокатного отделения в целом.

Постановка задачи.

При прокатке конкретного типоразмера необходимо определить такой режим, который обеспечит минимум суммарного удельного расхода электроэнергии при максимальной скорости прокатки, максимальной стабилизации процесса (минимум обрывов, простоев и пр.) и получении заданного качества прокатанных полос (отсутствие дефектов поверхности, соответствие толщины и плоскостности требованиям регламента) [14,17].

При такой постановке задачи расчет режимов можно свести к решению многокритериальной оптимизационной задаче, или к решению задачи условной оптимизации [1,2,4,15 и др.].

Практическая методика поиска и выбора оптимальных режимов прокатки из массива реализаций при многих критериях приведена и подробно рассмотрена в работах [1-2].

Основным недостатком методики является невозможность определения режима для типоразмеров, которые ранее не прокатывались на стане или прокатывались редко (имеют недостаточную степень повторяемости).

В работе [4] предоставлен подход к расчету режима прокатки с использованием обобщенного критерия оптимизации, в качестве которого выбран единый функционал с различным весовыми коэффициентами, назначаемыми экспертами.

К недостаткам такого подхода можно отнести наличие функциональной связи между отдельными критериями (требованиями к процессу) и субъективность в определении весовых коэффициентов, что может привести к погрешности при расчетах. Кроме того, в работе [4] приведены только общие виды моделей, что при отсутствии информации об их структуре и параметрах, алгоритмов вычислений, а также примеров расчета, вызывает непреодолимые трудности в использовании методики для расчетов режимов прокатки на практике (на действующих станах).

В основу предлагаемой методики решения поставленной задачи положены известные формулы и понятия теории прокатки (см., например, [6,7,10]), а также разработки авторов, подробно изложенные в работах [1-2, 9-10 и др.].

 Величины, определяющие режим прокатки, представляются вектором входных переменных (факторов): распределением частных обжатий по клетям многоклетьевого стана (проходам – для реверсивного) - *εi* (*i*=1,…,I), где I– количество клетей); удельными натяжениями на разматывателе, в межклетьевых промежутках и на моталке - *σi* (*i*=0,1,…I); клином скоростей - *Vi* (i=1,…,I).

Величины, характеризующие эффективность процесса, представляются вектором выходных переменных (откликов). К ним можно отнести: суммарный расход электроэнергии – *W∑*; производительность стана – *П*; точность проката – *hI* (*hI* – толщина полосы на выходе стана); плоскостность прокатанных полос – *σ(у)ост* (где *σ(у)ост* – распределение остаточных напряжений по ширине прокатанных полос, *y* – координата по ширине (*y*=0,…,*B* – ширина полосы); относительную частоту образования дефектов поверхности валков и полос – *nд* и др.

Решение поставленной задачи сведем к решению задачи условной оптимизации. В качестве критерия оптимизации (минимизации) предложено использовать суммарный расход энергии, затрачиваемой на процесс прокатки [6-8]. Для удобства вычислений коэффициент вытяжки *λ* заменён на относительное обжатие *εi*:

Следовательно, критерий оптимизации можно представить в следующем виде:

где *i* = 1…*I, I* – количество клетей; *Pcpi* – среднее давление прокатки, Мпа; *εi*–относительное обжатие, доля; *Qi* – объём металла, м3.

В формуле (1) объем полосы на выходе i-й клети: 

где *hi* – толщина полосы в i-й клети, м; *B* – ширина полосы, м; *l* – длина полосы, м.

Допускаем, что уширение при прокатке тонких полос отсутствует, поэтому их ширина постоянна и не зависит от номера клети. Это допущение согласуется с законом наименьшего сопротивления при пластической деформации, когда длина очага деформации (*lд*) несоизмеримо меньше ширины полосы (*В*) ().

Относительное обжатие в i-й клети выбирается из заданного диапазона:

 , (4)где *εmin ,εmax* – минимально и максимально допустимые значения относительного обжатия в i-й клети, доля (выбирается из нормативно-технической документации (НТД) или рассчитывается из конструкционных и технологических ограничений). Выполнение условия (4) позволяет обеспечить необходимые температурные и деформационные условия в очаге деформации, а также требуемые условия эксплуатации оборудования (выполнение требований к прочности валков и клети в целом). Средние удельные натяжения полосы на разматывателе, на моталке и в межклетьевых промежутках, необходимые для расчёта среднего давления в ф-лах (1) и (2), выбирается из следующих диапазонов:  (5)

где σmin, σmax – минимально и максимально допустимые значения среднего удельного натяжения, МПа; для межклетьевых промежутков:

 *с* =1,2 – 2,0; *σi-1* – среднее удельное натяжение в предыдущем i-1 промежутке, МПа [1 и др.]; *с’* =0,2 – 0,4; *σ0,2i* - условный предел текучести материала полосы в i-ом промежутке, МПа [6-8];

Для разматывателя и моталки минимальное и максимальное значения среднего удельного натяжения задаются, как правило, в соответствие с требованиями НТД, исходя из мощности натяжных устройств.

Выполнение условия (5) обеспечит снижение среднего давления, продольную устойчивость полосы, то есть снизит вероятность образования дефектов поверхности полосы («риски», «штрихи», «пробуксовки» и др.) и валков («навары», «выкрошка» и др.), а также обрывов полосы.

Остальные требования можно и целесообразно включить в систему ограничений применительно к определяемым режимам прокатки для различных станов и типоразмеров полос.

Не будем подробно останавливаться на конструкционных и технологических ограничениях, которые подробно рассмотрены и проанализированы в работах [1, с. 17-18 и 4, с. 76-78], и обоснуем возможность использования остальных перечисленных выше откликов (помимо суммарного расхода электроэнергии) в виде ограничений.

Обеспечение заданной (максимальной) производительности для конкретных размеров и марки полосы равносильно реализации заданной (повышенной) скорости прокатки при отсутствии внеплановых простоев, возникающих при аварийных ситуациях (в частности, при обрывах полосы). Ограничением скорости является мощность двигателей, которая включена в комплекс конструкционных и технологических ограничений. При расчете полученное значение скорости прокатки в каждой клети не должно приводить к превышению допустимого значения мощности двигателя:

 , (6)

где N*i* – мощность прокатки в i-й клети, кВт; *N доп* – максимально допустимое значение мощности прокатки, кВт.

Помимо ограничения по скорости прокатки существуют следующие ограничения:

1. По максимальному усилию прокатки:  (7)

где *Pi* – усилие прокатки в i-й клети, Н; *Pдоп* – максимально допустимое значение усилия прокатки, Н.

1. По максимальному моменту прокатки:  (8)

где *Мi* – момент прокатки в i-й клети, кНм; *М доп* – максимально допустимое значение момента прокатки, кНм.

1. Дополнительное условие устойчивости полосы в отношении обрывов можно представить в виде неравенства:  (9)

где *σ(y)maxi* – максимальное удельное натяжение на кромке полосы, прокатываемой в i-й клети; *Ki* – коэффициент концентрации напряжений на краю полосы; *σ\*прi* – предел прочности материала полосы на разрыв с учетом наклёпа металла в i-й клети.

Коэффициент *К* определяется для каждого материала и зависит от наличия концентратов напряжений на кромках (трещин, неметаллических включений и других дефектов). Величина коэффициента определяется в зависимости от величины коэффициента интенсивности напряжений, величины дефекта и приложенного напряжения [9-10]. Критические значения коэффициента концентрации напряжений для сталей в наклёпанном состоянии, при наличии дефектов на кромках, могут достигать величины порядка 1,8 – 2,0 [11].

Рассчитывать значения удельных напряжений на кромках в различных межклетьевых промежутках можно по методике, представленной в работах [1,11,14].

Необходимые для обеспечения заданных эпюр удельных натяжений в полосе в различных межклетьевых промежутках многоклетьевого стана уставки гидроизгиба и перекоса рабочих валков, а также дифференцированного расхода смазочно-охлаждающей жидкости можно рассчитать по формулам (26)-(35) работы [1] (см. c. 24). Требования к относительной частоте образования дефектов поверхности валков и полосы приведены в работе [1] (см. с. 18-20). Требования к точности и плоскостности полос выполняются с помощью замкнутых систем автоматического регулирования толщины (САРТ) и плоскостности (САРП), которые функционируют автономно в режиме реального времени (on-line) и реализуют, как правило, либо регулирование по отклонению, либо комбинированный способ регулирования [11,17].

В данном случае режим прокатки должен быть благоприятным для работы систем и исключать их выход на предельные режимы. В формуле (2) для расчета среднего по длине очага деформации давления можно использовать любые известные методики, в которых присутствует натяжение. На практике хорошо зарекомендовали себя методики Целикова А.И., Стоуна, Коцаря С.Л. и др. [3-8]. Алгоритм решения задачи определения режима холодной прокатки полосы заданного типоразмера на многоклетьевом стане приведен ниже.

1. Задание типоразмера полосы (начальная и конечная толщина – h0,hI, мм; ширина – В, мм; марка стали).
2. Расчет суммарного обжатия: 

 где *h0* , *hI* – начальная и конечная толщина полосы, мм.

1. Задание диапазонов изменения относительных обжатий в каждой клети стана (ф-ла (4)).
2. Задание диапазонов изменения средних удельных натяжений на разматывателе, моталке и в межклетьевых промежутках (ф-ла (5)).
3. Задание числа поддиапазонов ni в диапазонах изменения относительных обжатий (см.п.3).
4. Расчет шага Δεi изменения относительного обжатия в i-й клети прокатного стана:

 

1. Определение границ поддиапазонов изменения относительного обжатия εi для каждой клети стана.
2. Задание числа поддиапазонов mi в диапазонах изменения средних удельных натяжений на i-м участке полосы, расположенном на разматывателе, в межклетьевых промежутках и на моталке (см.п.4).
3. Расчет шага Δσj изменения среднего удельного натяжения на j-м участке полосы:

 

1. Определение границ поддиапазонов изменения средних удельных натяжений σj на j-м участке полосы, расположенном на разматывателе, в межклетьевых промежутках и на моталке.
2. Расчет числа возможных альтернативных вариантов сочетаний поддиапазонов относительных обжатий и средних удельных натяжений:

 

 где П – знак произведения.

1. Расчет соответствия распределения относительных обжатий по клетям суммарному относительному обжатию (см.п.2):

 

1. Исключение из общего числа возможных вариантов *W* вариантов *W’,* не соответствующих условию (13):

 ** (14)

где W\* - число реализуемых вариантов сочетаний поддиапазонов относительных обжатий εi и средних удельных натяжений σi. При этом W\*<<W.

1. Задание скорости прокатки в соответствие с условием:

 ** (15)

где Vi ,Vmax – скорость за последней клетью и максимальная (проектная) скорость прокатки.

1. Расчёт скорости полосы на выходе i-й клети:

 ** (16)

где hi , hI – толщина полосы за i-й клетью и на выходе стана; *hi =* *hi-1(1-εi)*,

hi-1 – толщина полосы на входе в i-ю клеть.

1. Расчёт среднего по длине очага деформации давления прокатки P\*cpi в каждой клети стана для каждого варианта W\* (Для расчета можно использовать, например, методики Стоуна или А.И. Целиков, которые подробно рассмотрены в [1,3,6-7 и др] и в статье не приведены.).
2. Расчёт энергосиловых параметров прокатки P\*i, M\*i,N\*i.
3. Проверка условий (6) – (8).
4. Исключение из массива рассчитанных значений P\*cpi ,тех для которых условия (6) – (8) не выполняются:

  (17)

где массив значений средних давлений прокатки, для которых соответственно выполняется и не выполняются условия (6) – (8).

1. Расчёт объема металла *Qi* по ф-ле (3).
2. Расчёт для каждой клети стана.
3. Расчёт суммарного расхода энергии по ф-ле (2) для каждого реализуемого варианта.
4. Сравнение рассчитанных величин  и выбор минимального значения (см. ф-лу (2)).
5. Выбор режима прокатки  при= min.
6. Расчёт эпюр удельных натяжений (y - координаты по ширине полосы) в межклетьевых промежутках при рассчитанном режиме прокатки (см. гл. 3, с.112 - 123[11], ф-лы (24) – (25), с.23 [1]).
7. Задание эпюр удельных натяжений , обеспечивающих устойчивый стабильный процесс прокатки.
8. Расчёт уставок средств регулирования плоскостности полос в каждой клети стана (гидроизгиб, перекос рабочих валков и дифференцированная подача смазочно-охлаждающей жидкости), обеспечивающих получение заданной эпюры удельных натяжений .

Расчет заканчивается.

Результаты экспериментальной проверки эффективности и адекватности представленной методики, а также количественной оценки снижения себестоимости продукции при её практическом использовании будут представлены в сообщении 2 данной статьи.

Библиографический список

1. Божков, А.И. Автоматизация управления качеством тонколистового проката (Цикл учебных пособий в 3-х книгах). Автоматизация управления технологией прокатки полос. Кн. 2: учеб. пособие / А.И. Божков. - Липецк: изд-во Липецкого государственного технического университета, 2015. – 78 с.
2. Настич В.П. Автоматизированная система анализа и выбора технологии холодной прокатки на многоклетьевом стане/ В.П. Настич [и др.] // Производство проката. – 2011. - №2. – С. 22-23.
3. Долматов А.П. Автоматизированное проектирование и реализация технологии холодной прокатки электротехнической стали / А.П. Долматов [и др.]. Москва: Наука и технология, 2000. – 448 с.
4. Кузнецов, Л.А. Введение в САПР производства проката/ Л.А. Кузнецов – Москва: Металлургия, 1991. – 112 с.
5. Васильев, Я.Д. Инженерные модели и алгоритмы расчета параметров холодной прокатки / Я.Д. Васильев. – Москва: Металлургия, 1995. – 368 с.
6. Целиков, А.И. Теория прокатки /А.И. Целиков, А.И. Гришков.– Москва: Металлургия, 1970. – 359 с.
7. Целиков А.И. Теория прокатки: справочник / А.И. Целиков [и др.]. – Москва: Металлургия, 1982.– 335 с.
8. Грудев А.П. Теория прокатки / А.П. Грудев. Москва: Металлургия,

1988. – 240 с.

9. Финкель В.М. Физика разрушения. Рост трещин в твёрдых телах / В.М. Финкель. – Москва: Металлургия, 1970. — 376 с.

 10. Слепян Л. И. Теория трещин. Основные представления и результаты/ Л. И.Слепян, Л. В. Троянкина - Спб: Судостроение, 1976 – 44с.

 11. Божков А. И. Плоскостность тонколистового проката/ А. И.Божков, В.П. Настич - Москва: " Интермет инжиниринг", 1998. - 264 с.

 12. Божков А.И., Ерёмин Г.Н., Дёгтев С.С., Ковалёв Д.А. Научное обоснование и создание систем автоматизации управления качеством продукции листопрокатных цехов предприятий чёрной металлургии. Сообщение 12. Подсистема анализа технико-экономических показателей работы листопрокатного цеха// Производство проката. -2016. - №10, - с.39-43.

 13. Коцарь С.Л. Технология листопрокатного производства / С.Л. Коцарь, А.Д. Белянский, Ю.А. Мухин. -М.: Металлургия, 1997.-272 с.

14. Казаджан Л.Б. Магнитные свойства электротехнических сталей и сплавов / Л.Б. Казаджан. М.: ООО «Наука и технологии», 2000. - 224с.

15. Подиновский В. В. Потенциальная оптимальность в многокритериальной оптимизации // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2014. Т. 54. № 3. С. 415-424..

16. Настич В.П., Божков А.И. Управление качеством холоднокатаных полос: научное издание / В.П. Настич, А.И. Божков. – М.: Интермет Ин-жиниринг, 2006. – 216 с.

17. 3. Чеглов А.Е. Эволюция микроструктуры и текстуры при производстве электротехнической изотропной стали / А.Е. Чеглов, A.A. Заверюха, Н.Ю. Слюсарь // Сталь. 2005. №4. С. 105 110.

18. Новиков, Д.А. Современные проблемы теории управления организационными системами. В кн. «Человеческий фактор в управлении»/ Под ред. Н.А. Абрамовой, К.С.Гинсберга, Д.А. Новикова. – М.: КомКнига. 2006. – с.391 – 407.

19. Человеческий фактор в управлении / Под ред. Н.А. Абрамовой, К.С. Гинсберга, Д.А. Новикова. М.: Ком Книга, 2006. – 496 с.

20. Волков О.И., Скляренко В.К. Экономика предприятия. М.: ИНФА. 2006. 280 с.

**Bibliographic list**

1. Bozhkov, A.I. Automation of quality management of sheet metall (a cycle of manuals in 3 books). Automation of practice management of rolling strips. Book. № 2: manual / A.I. Bozhkov. - Lipetsk: publishing house of Lipetsk State Technical University, 2015. – 78 p.

2. Automated system for analysis and selection of cold rolling technology on a multiple-stand mill / V.P. Nastich [and others.] // Proizvodstvo prokata. – 2011. - №2. – p. 22-23.

3. Automated design and implementation of cold rolling technology for electrotechnical steel / A.P. Dolmatov [and others.]. Moscow: Since & technologies, 2000. – 448 p.

4. Kuznecov, L.A. Introduction to CAD production of rolled products / L.A. Kuznecov – Moscow: Metallurgy, 1991. – 112 p.

5. Vasil'ev, Ja. D. Engineering models and algorithms for calculating the parameters of cold rolling / Ja.D. Vasil'ev. - Moscow: Metallurgy, 1995. – 368 p.

6. Celikov, A.I. Theory of rolling /A.I. Celikov, A.I. Grishkov.– Moscow: Metallurgy, 1970. – 359 p.

7. Theory of rolling: Directory / A.I. Celikov [and others.]. – Moscow: Metallurgy, 1982.– 335 p.

8. Grudev A.P. Theory of rolling/A.P. Grudev. Moscow: Metallurgy,1988. - 240 p.

9. Finkel' V.M. Physics of destruction. Growth of cracks in solids / V.M. Finkel'. – Moscow: Metallurgy, 1970. — 376 p.

10. Slepjan L. I. The theory of cracks. Basic concepts and results / L. I.Slepjan, L. V. Trojankina - St.P.: Sudostroenie, 1976 – 44p.

11. Bozhkov A. I. Flatness of sheet metall / A. I.Bozhkov, V.P. Nastich - Moscow: " Intermet inzhiniring", 1998. - 264 p.

12. Bozhkov A.I., Erjomin G.N., Djogtev S.S., Kovaljov D.A. Scientific substantiation and creation of automation systems for quality management of sheet rolling plants of ferrous metallurgy enterprises. Message № 12. Subsystem for analysis of technical and economic performance of the sheet rolling plant// Proizvodstvo prokata. -2016. - №10, - p.39-43.

13. Kocar' S.L. Technology sheet rolling production / S.L. Kocar', A.D. Beljanskij, Ju.A. Muhin. - M.: Metallurgy, 1997.-272 p.

14. Kazadzhan L.B. Magnetic properties of electrotechnical steels and alloys / L.B. Kazadzhan. M.: LLC "Science and Technology", 2000. – 224 p.

15. Podinovskij V. V. Potential Optimality in Multicriteria Optimization // Journal of Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2014. T. 54. № 3. P. 415-424.

16. Nastich V.P., Bozhkov A.I. Quality management of cold-rolled strips: scientific edition / V.P. Nastich, A.I. Bozhkov. – M.: Intermet Inzhiniring, 2006. – 216 p.

17. Cheglov A.E. Evolution of microstructure and texture in the production of electrical isotropic steel / A.E. Cheglov, A.A. Zaverjuha, N.Ju. Sljusar' // Steel 2005. №4. P. 105-110.

18. Novikov, D.A. Modern problems of the theory of management of organizational systems. In the book « The human factor in the management»/ edited by N.A. Abramov, K.S.Ginsberg, D.A. Novikov. – M.: KomKniga. 2006. – p.391 – 407.

19. The human factor in the management / edited by N.A. Abramova, K.S. Ginsberg, D.A. Novikov. M.: Kom Kniga, 2006. – 496 p.

20. Volkov O.I., Skljarenko V.K. Enterprise economy.M.: INFA.2006.280 p.