



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

А.Б. Моллер

**НАСТРОЙКА КЛЕТЕЙ
СОРТОПРОКАТНЫХ СТАНОВ
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОФИЛЕЙ ПРОСТОЙ ФОРМЫ**

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

Магнитогорск
2015

УДК 621.771.074: 621.771.25.002.237

Рецензенты:

Доктор технических наук,
профессор кафедры обработки металлов давлением,
ФГБОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Шилов В.А.

Кандидат технических наук,
ведущий специалист технической группы технологического управления,
ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»

Логинов А.В.

Моллер А.Б.

Настройка клетей сортопрокатных станов при производстве профилей простой формы [Электронный ресурс] : учебное пособие / Александр Борисович Моллер ; ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный техниче-ский университет им. Г.И. Носова». – Изд. 2-е, подгот. по печ. изд. 2012 г. – Элек-трон. текстовые дан. (1,48 Мб). – Магнитогорск : ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2015. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Систем. требования : IBM PC, любой, более 1 GHz ; 512 Мб RAM ; 10 Мб HDD ; MS Windows XP и выше ; Adobe Reader 8.0 и выше ; CD/DVD-ROM дисковод ; мышь. – Загл. с титул. экрана.

Пособие предназначено для ознакомления студентов с основами автома-тизированной настройки непрерывных групп клетей сортовых и проволочных станов. Пособие включает семь разделов. В первых трех излагаются теоретиче-ские основы адаптивной математической модели, предназначенных для решения задач настройки. Приводится описание вариантов реализации системы настройки на современных станах. В четвертом, пятом и шестом разделах рассмотрен учеб-ный вариант математической модели настройки. Приведены примеры его исполь-зования. Описаны методы решения технологических задач, связанных с настрой-кой. В седьмом разделе приводится описание оригинального пакета программных средств "SORT" с инструкциями по его использованию для различных практиче-ских задач.

Пособие предназначено в первую очередь для студентов, обучающихся по направлению и специальности 150400 – «Металлургия» и 221700 – «Стандарти-зация и сертификация (по отраслям)». Рекомендуется для использования в дисци-плинах: «Моделирование процессов и объектов в металлургии», «Основы техно-логических процессов ОМД», «Управление качеством». Может быть полезным инженерно-техническим работникам металлургических предприятий и слушате-лям программ повышения квалификации и переподготовки кадров промышлен-ных предприятий.

УДК 621.771.074: 621.771.25.002.237

© Моллер А.Б., 2012

© ФГБОУ ВПО «Магнитогорский
государственный технический
университет им. Г.И. Носова», 2012

СОДЕРЖАНИЕ

1. ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАСТРОЙКОЙ СОРТОВЫХ И ПРОВОЛОЧНЫХ СТАНОВ.....	6
2. АДАПТИВНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАСТРОЙКИ СТАНА	7
2.1. Принципы построения адаптивной модели	7
2.2. Допущения, принятые в адаптивной модели настройки	9
2.3. Базовая матричная модель формоизменения металла в калибрах	9
2.4. Матричное описание формоизменения на сортовом стане ...	11
2.5. Основные технологические факторы, влияющие на настройку и их матричное представление	13
2.6. Базовый алгоритм регулирования межвалкового зазора.....	14
2.7. Общая структура алгоритма адаптивной математической модели настройки стана	17
3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНОЙ МОДЕЛИ НАСТРОЙКИ НЕПРЕРЫВНОГО СТАНА	19
3.1. Режим "ON LINE"	19
3.2. Режим "ON LINE OPEN LOOP"	19
3.3. Принципы связи модели настройки с системой минимальных натяжений	21
3.4. Требуемые возможности главной линии клеток стана при использовании системы настройки в режиме "ON LINE"	23
4. УЧЕБНЫЙ ВАРИАНТ АДАПТИВНОЙ МОДЕЛИ НАСТРОЙКИ СТАНА	24
4.1. Принципы функционирования адаптивной математической модели настройки стана	26
4.2. Оценка точности работы модели	28
5. РАБОТА МОДЕЛИ НАСТРОЙКИ НА ПРИМЕРЕ ПАРАМЕТРОВ ДЕЙСТВУЮЩИХ СТАНОВ	30
6. МЕТОДЫ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИ НАСТРОЙКИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ	33
6.1. Метод определения рационального задействования клеток при настройке сортопрокатного стана	34
6.2. Метод сравнительной оценки технологичности настройки различных калибровок.....	37
6.3. Метод определения взаимного влияния непрерывных групп стана на колебания параметров и настройку	39

7. ПАКЕТ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ «SORT».....	40
7.1. Функции диспетчера задач.....	40
7.2. Система подготовки данных.....	41
7.2.1. Основные функции меню.....	41
7.2.2. Подготовка данных для заполнения баз.....	42
7.2.3. Работа с пунктом меню "Стан".....	43
7.2.4. Работа с пунктом меню "Калибровка".....	44
7.2.5. Работа с пунктом меню "Износ".....	46
7.2.6. Работа с пунктом меню «Удалить».....	47
7.3. Система настройки стана.....	48
7.3.1. Описание системы настройки.....	48
7.3.2. Пользовательский интерфейс.....	48
7.3.3. Возможная последовательность и режимы работы.....	53
Список использованных источников.....	55

ВВЕДЕНИЕ

Для получения качественного готового профиля и устранения нарушений технологического процесса, вызванных объективными причинами, стан регулярно подстраивают. Быстрая и надежная настройка - важный фактор, влияющий на производительность прокатного стана и качество готового профиля. Вопрос эффективной настройки стана приобретает особое значение при выпуске широкого сортамента высококачественной продукции и работе стана на высоких скоростях прокатки, что соответствует требованиям современного прокатного производства в условиях свободного рынка.

Производственный опыт показывает, что, в лучшем случае, при отлаженной организации ручной настройки на простои уходит 3-5 % Фактического времени работы стана. В действительности простои по причине настройки значительно больше, учитывая период настройки на ходу, во время которого стан имеет пониженную производительность.

В соответствии с рассматриваемой современной концепцией эффективное управление настройкой подразумевает возможность управления процессом формирования готового профиля путем совместного регулирования межвалковых зазоров и скоростей прокатки в реальном времени при изменении значимых технологических параметров прокатки. Такая настройка позволит не допускать отклонения размеров раската за допустимые пределы и вести прокатку в минусовом поле допусков.

Переход к такой системе управления предполагает:

- наличие эффективной математической модели настройки калибров, увязанной с другими системами контроля на стане;
- определенную конфигурацию исполнительных механизмов настройки.

В настоящий момент уровень совместных отечественных и зарубежных разработок позволяет перейти от подготовительного периода к поэтапной технической реализации адаптивной системы управления станом нового поколения, что обеспечит:

- отказ от ручной настройки;
- внедрение автоматизированной системы, обеспечивающей стабильную и точную настройку стана;
- подъем культуры производства на качественно новую ступень;
- усовершенствование технологии получения профилей проката.

1. ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАСТРОЙКОЙ СОРТОВЫХ И ПРОВОЛОЧНЫХ СТАНОВ

На подавляющем большинстве сортовых станов, действующих в России, настройка осуществляется вручную, интуитивно. Надежность настройки зависит от субъективных факторов: опыта и квалификации старшего вальцовщика и всего технологического персонала. Точная настройка усложняется еще и тем, что на размеры профиля влияет большое количество варьируемых технологических факторов и при совершенно одинаковой настройке можно получать разные сечения в пределах даже одного раската. Поэтому надежное управление прокатным станом возможно только в том случае, когда известны характер и степень влияния главных технологических факторов на точность геометрических размеров проката и величины отклонений параметров геометрии, вызываемые их действием. В основе системы управления работой стана должны лежать надежные математические модели калибровки и программных средств в виде систем автоматизированной настройки сортового стана.

Поэтому в настоящее время все ведущие фирмы по производству прокатного оборудования и прокатных технологий вынуждены заниматься данной проблемой.

Подходы различных фирм к данной проблеме можно сгруппировать по четырем направлениям:

- 1) автоматизированное регулирование скорости (прокатка без натяжений);
- 2) автоматизированный контроль температуры прокатки;
- 3) слежение за раскатом в клетях (системы визуального отображения технологического процесса);
- 4) контроль и выявление поломок оборудования и ошибок в технологическом процессе.

На сегодня ни одна из фирм не предложила промышленного варианта целостной системы управления настройкой сортового стана в процессе его работы. Эта ситуация сложилась ввиду отсутствия простых и надежных математических моделей настройки сортовых станов.

На кафедре ОМД МГТУ был разработан матричный подход к описанию формоизменения металла в калибрах простой формы [1,2]. Данная методика позволяет комплексно подойти к разработке адаптивной системы управления станом. Эта система предполагает работу в двух режимах:

- 1) первоначальная настройка стана (новые профилаэрамер, калибровка, диаметры валков, температура нагрева, марка стали);
- 2) подстройка работающего стана (износ валков, изменение вышеречисленных факторов), которая может осуществляться в реальном времени.

2. АДАПТИВНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАСТРОЙКИ СТАНА

2.1. Принципы построения адаптивной модели

В последние годы значительное внимание уделяется вопросам внедрения автоматических систем управления технологическими процессами. Это связано с рядом трудностей:

Во-первых, в промышленности существуют производства и процессы, проводимые вручную.

Во-вторых, при построении системы управления требуется знать математическую модель объекта для выбора структуры и параметров системы, оптимальных режимов и других факторов.

В-третьих, большинство промышленных объектов нестационарно, их математическое описание изменяется со временем. К этому необходимо добавить, что замена источника сырья и различные технологические усовершенствования, как правило, ведут к значительному изменению математического описания процесса.

В-четвертых, управление крупными промышленными агрегатами требует исключительно большой надежности. Высокая производительность этих установок приводит при их остановке к экономическим потерям.

Указанные трудности в полной мере характерны для процессов прокатки профилей и могут быть преодолены применением адаптивных систем управления. При этом должны выполняться условия:

- принципы построения системы должны быть универсальными в том смысле, что применение их для автоматизации технологических процессов не должно быть связано с изменением состава датчиков и, возможно, с изменением в обращении к компьютерной программе;

- система должна обеспечивать управление по возмущению, чтобы можно было получать экономический эффект и на отлаженных процессах, но быть в то же время нечувствительной к изменению параметров объектов.

Система управления может быть построена по схеме, показанной на рис. 2.1. Параллельно объекту стоит идентификатор - устройство, которое по данным, полученным в реальных условиях работы объекта, строит его математическую модель. В общем случае идентификатор определяет структуру и параметры модели реального объекта, в частном же случае для заданной структуры модели определяют неизвестные параметры в уравнении, связывающем выход объекта $y(t)$ с его вектором входа $x(t)$. Уточнение модели происходит непрерывно. По математической модели объекта, представляющей собой вектор оценок неизвестных параметров объекта, в каждом такте вырабатывается управляющее воз-

действие [3]. Показанная разбивка (см. рис. 2.1) на блоки условна. Обычно это не специальные устройства, а только различные части программы внутри одной и той же вычислительной машины.

Основным в этой схеме является идентификатор. Алгоритм, по которому работает идентификатор, должен удовлетворять нескольким, часто противоречивым требованиям.

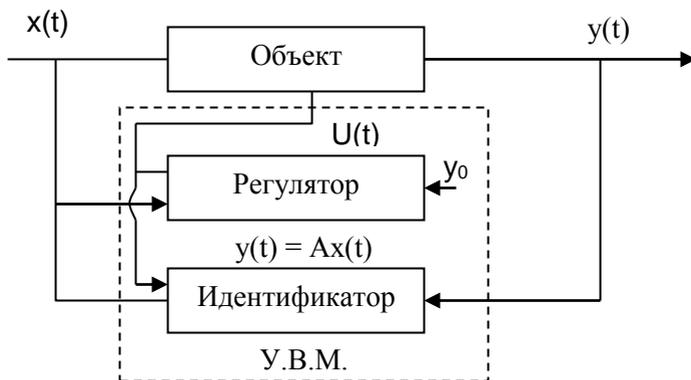


Рис. 2.1. Блок-схема управления с идентификатором

Во-первых, он должен обеспечить абсолютную сходимость оценок с параметрами объекта. Если сходимость обеспечивается только до какой-то минимальной ошибки, то желательно иметь возможность оценить погрешность метода.

Во-вторых, сходимость не должна исчезать при замыкании обратной связи, т. е. уточнение параметров модели должно продолжаться и в замкнутой системе.

В-третьих, вычислительная реализация алгоритма должна быть настолько простой, чтобы для построения модели можно было использовать существующие вычислительные машины и их быстродействие, а при уточнении математической модели объекта реализацию осуществлять в темпе хода процесса.

В-четвертых, увеличение числа входных переменных не должно приводить к резкому увеличению количества вычислений, а в идеале оно должно приводить к пропорциональному увеличению.

Если объект нестационарен, т. е. его параметры изменяются во времени, то оценки этих параметров следует непрерывно уточнять. Если этого не делать, то модель не будет соответствовать объекту и по ней невозможно будет предсказать поведение самого объекта и управлять им. Поэтому применение адаптивных моделей принципиально необходимо при управлении нестационарными объектами.

Примером объекта, для которого применение адаптивной модели целесообразнее применения стационарной, может служить прокатный стан. Математическую модель стана необходимо строить для каждого профиля, который прокатывают на стане. Оказалось, что выгоднее применить универсальный адаптивный алгоритм вместо большого числа стационарных моделей.

Отметим еще одно положительное свойство адаптивных алгоритмов - большую помехозащищенность и простоту учета дополнительных факторов.

2.2. Допущения, принятые в адаптивной модели настройки

В рассматриваемой адаптивной модели настройки стана приняты следующие допущения:

- величина износа рабочих валков стана, а вернее, калибров рабочих валков по направлению радиус-векторов, описывающих калибр, линейно зависит от количества прокатанных тонн. Данное предположение является верным в период стабилизации процесса износа калибра, а именно этот период занимает основное рабочее время валков;

- усредненный учет влияния температуры и марки стали на уширение предполагает уточнение соответствующих параметров в процессе адаптации к конкретному стану в режиме ON LINE.

- для установления практически возможного диапазона изменения затора от его изменение ограничено пределами $[t/4 < t < 2t]$;

- недопустимым для качественной прокатки металла следует считать переполнение в последней клетки более 1,5 %;

- для удовлетворения современным требованиям отсутствия натяжения изначально закладывается условие деформации металла в клетях с минимальным натяжением.

2.3. Базовая матричная модель формоизменения металла в калибрах

Особенностью калибров простой формы является то, что контур сечений, образованных этими калибрами, имеет правильную геометрическую форму, образуя простые фигуры, центр симметрии которых находится в центре тяжести сечения. Это дает возможность описывать не весь контур, а минимальную центрально-симметричную его часть, полностью отражающую форму сечения. Для двухвалковых калибров описывается одна четвертая часть контура. Матричное описание предполагает учет всех элементов формы контура. Описание контура осуществляется в полярной системе координат, ассоциированной с декартовой ОХУ, при этом полюс совпадает с центром тяжести (симметрии) сечения.

Геометрической моделью контура сечения является замкнутая кривая (рис. 2.2.), при рассмотрении которой в полярной системе координат (полярная ось совпадает с ОХ) ее можно представить как совокупность точек пересечений базисных лучей с контуром. При этом лучи определяют точки, имеющие координаты: $\rho_i \cdot \varphi_i$ в этой системе [3, 4].

При разбиении, в силу симметрии, первого квадранта контура на $n-1$ секторов с равными углами при вершинах, контуру можно поставить в соответствие n -мерный вектор [2].

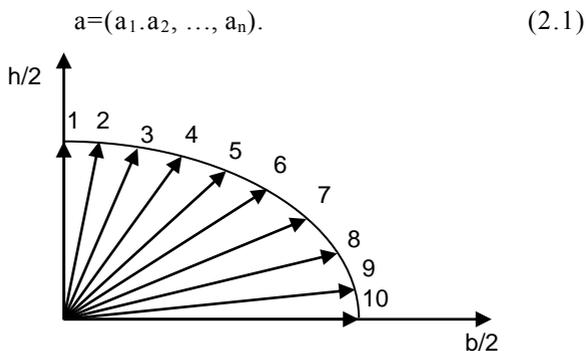


Рис. 2.2. Векторная модель контура сечения

При этом, чем больше n , тем точнее характеризуется описываемый контур. Однако большое увеличение хотя и повышает точность, но приводит к громоздкости описания и, как следствие усложнению математического аппарата, увеличению массива данных при задаче таких векторов в ЭВМ. Поэтому, исходя из задач описания контуров, конечных целей этого описания, допустимой точности, целесообразно описание 1/4 части контура (в первом квадранте) десятимерным вектором (см. рис. 2.2.)

$$a=(a_1, a_2, \dots, a_{10}). \quad (2.2)$$

При этом обеспечивается достаточно простое описание контура, а точность описания по оценке площади составляет 3-5 %.

В матричном подходе процесс формоизменения представляется как процесс перевода контура входящего в калибр сечения в контур выходящего сечения. При этом, если контур входа описан вектором a , а контур выхода - вектором b в одной и той же системе координат, этот процесс можно представить в виде оператора перевода вектора a в вектор b

$$b= A \times a, \quad (2.3.)$$

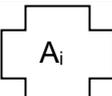
где A -матрица диагонального вида.

В случае рассмотрения десятимерных векторов оператор имеет вид:

ства (учитывая взаимную симметрию секторов калибра для простых профилей, описывается только 1/4 всего сечения, причем достаточная точность достигается при использовании десяти базисных радиус-векторов, т. е. при $n = 10$), а формоизменение в каждом из калибров - матричным способом (2.3-2.4).

Таблица 2.1

Идентификация объектов математической модели

Объект	Технологическое представление	Математическое представление	Номер формулы
	Исходное сечение	Вектор b_0 , описывающий исходное сечение	Схема (2.6)
	Сечение, выходящее из 1-й клетки	$b_1 = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{12} \\ \vdots \\ b_{110} \end{bmatrix}$	Схема (2.6)
	Кантовка проката	Оператор кантовки	(2.7)
	Сечение, входящее в (i+1) клетку	Вектор b'_i , описывающий сечение, входящее в (i+1) клетку	(2.3)
	Деформирующая клетка	Оператор формоизменения в клетке	(2.3-2.4)

Для описания возможной кантовки введен оператор кантовки, трансформирующий вектор b , описывающий сечение в положении выхода из калибра, в вектор b' , описывающий сечение в положении его входа в последующий калибр:

$$b'_i = [k] \times b_i, \quad (2.7)$$

где $[k]$ - матрица оператора кантовки.

Применяя матричное описание непосредственно к нашему примеру (см. схему 2.6), получаем:

$$\begin{aligned} b_i &= [A_i] \times b_{i-1}; \\ b_{i-1} &= [k]_{i-1} \times b_{i-1}. \end{aligned}$$

Далее можно записать:

$$b_i = [A_i]^{[k]_{i-1}} \times b_{i-1}, \quad (2.8)$$

где $[A_i]^{[k]_{i-1}}$ - матрица формоизменения с учетом кантовки раската, i - номер клетки по ходу прокатки.

Матрица $[k]$ имеет диагональный вид, а ранг равняется рангу вектора, описывающего профиль калибра (в нашем случае ранг 10).

Получение универсальной формулы (2.8) для описания формоизменения в каждой клетке позволяет представить процесс прокатки на стане в виде циклически повторяющегося математического оператора. На основе этого можно предложить простой и доступный для ЭВМ алгоритм решения задачи управления геометрией раската.

Из анализа процесса прокатки видно, что величина вектора b , описывающего сечение, выходящее из i -й клетки, одновременно зависит от процесса формоизменения в i -й клетке стана и при отсутствии натяжения может управляться только за счет изменения межвалкового зазора по клеткам, что позволяет компенсировать влияние износа калибров и изменения других технологических факторов на форму профиля.

2.5. Основные технологические факторы, влияющие на настройку и их матричное представление

Целью настройки сортового стана является получение точных геометрических размеров профиля, в самом общем случае высоты и ширины. Высота регламентирована вертикальным положением валков и варьируется в зависимости от упругой деформации. В последнее время воплощены инженерные и технические разработки, позволяющие пренебрегать упругой деформацией клетки. Поэтому в данной методике высота профиля является функционалом вертикального положения валков и зависит от калибровки и износа валков. Любая калибровка, представленная в векторном виде, относится к входным параметрам математической модели. Информация о характере износа исследована, получены результаты, подтверждающие прямо пропорциональную зависимость каждого из компонентов вектора любого калибра от количества прокатанного в калибре металла (тоннажа).

Для учета фактора износа в математическую модель наряду с векторами калибров в качестве адаптационного параметра вводятся по одному вектору износа каждого калибра при любом тоннаже для данной калибровки или ее аналога. При этом модель производит самонастройку адаптационных коэффициентов и при работе может давать точный отклик при изменении параметра "тоннаж".

На ширину готового профиля оказывает влияние большое количество факторов: диаметр валков, абсолютное обжатие, геометрия заготовки, форма очага деформации, контактное трение, температура прокатки, марка стали (через предел текучести и химический состав), натяжения и подпоры, скорость прокатки. В случае прокатки сортовых профилей

влиянием ряда факторов можно пренебречь или выразить через влияние других факторов. Таким образом, был получен ряд основных технологических факторов, прямо влияющих на ширину раската и учитывающих некоторые другие факторы. Данными факторами являются температура прокатки, марка стали, диаметр валков.

Температура прокатки - один из определяющих комплексных факторов, влияющий как сам по себе на заполнение калибра (через уширение), так и аккумулирующий воздействие других (контактное трение, сопротивление металла пластической деформации и др.).

Существенно воздействуют на заполнение калибра сопротивление металла пластической деформации и химический состав стали, которые можно определить фактором - марка стали.

Диаметры валков также влияют на ширину получаемого профиля через форму очага деформации, скорость прокатки, абсолютное обжатие. Диаметр валков является переменным фактором из-за переточек валков при эксплуатации, хотя калибровка валков стана проектируется на нормальное заполнение для диаметров валков без переточек.

Для моделирования настройки сортового стана на базе матричного подхода получены зависимости между изменениями температуры прокатки, марки стали, диаметров валков и инвариантами матрицы формоизменения (2.5.), которые являются константами процесса прокатки по заданной схеме калибровки.

В результате исследования параметров действующих станов удалось получить ряд зависимостей, графиков, коэффициентов, которые отображают влияние основных технологических факторов на положение свободной поверхности металла во внеконтактной области разъема. Это положение металла является определяющим при настройке. Данные зависимости и адаптивные коэффициенты положены в основу математической записи влияния выбранных технологических факторов на настройку в модели настройки сортового стана и имеют векторную интерпретацию. Самоуточнение адаптивных коэффициентов предполагается в случае привязки модели к конкретному стану в режиме ON LINE.

2.6. Базовый алгоритм регулирования межвалкового зазора

Рассмотрим адаптивный алгоритм контроля за геометрическими размерами прокатываемого профиля и их стабилизации за счет управления межвалковым зазором, представленный блок-схемой (рис.2.3).

Контроль геометрических размеров профиля на выходе из стана дает представление о соответствии реального профиля шаблону или требуемому стандарту. В случае запредельного (нами принято 1,5 % от требуемой ширины) отклонения размеров сечения начинает работать "механизм" подстройки стана.

В зависимости от требуемой точности настройки на нужный профиль задается величина однократного перемещения валков в вертикальном направлении (блок номер 7), которая учитывается в работе основного алгоритма настройки. После определения отклонения размеров профиля проводится оценка характера заполнения калибра (блок номер 8), так как возможны случаи переполнения калибра или случаи невыполнения профиля. Если определено, что наблюдается невыполнение профиля в клетке, то валки предшествующей клетки разводят на величину ранее заданного шага (блок номер 10), после чего осуществляется проверка параметров профиля в рассматриваемой клетке. Если параметры профиля выходят за рамки ограничения, то есть обнаружены отклонения от возможного диапазона размеров, то дальнейшее воздействие для получения точного конечного профиля переносится на следующую против хода прокатки клетку. Иначе, если параметры профиля остаются в допустимых рамках, то срабатывает система расчета формоизменения с учетом произведенной подстройки (блок номер 4). Полученный в расчетах конечный профиль вновь сравнивается с эталонным (блок номер 6). Если все же отклонение имеет место, то производится очередное перемещение валков с последующей проверкой результатов воздействия.

Если же полученный профиль отвечает предъявленным к нему требованиям, то величина изменения зазоров по клеткам выдается как рекомендуемая (блок номер 13) для обеспечения прокатки профиля с высокой степенью точности геометрических размеров.

Для моделирования с высокой точностью и быстродействием процесса изменения контура калибра при вертикальном регулировании зазора, был предложен универсальный аналитический метод определения новых координат точек пересечения контура калибра с базисными лучами. Это позволяет вести регулировку зазора с предельно точным учетом текущих геометрических очертаний любого калибра в любой момент времени.

Таким образом, рассмотренный алгоритм широко применим на действующих и проектируемых непрерывных сортовых станах и легко может без изменений адаптироваться к любой конфигурации стана, применяемой калибровке и т.п., а также не требует существенных затрат для переложения его на машинный язык в качестве основного алгоритма модели настройки.

Выходные параметры управляемой программы представлены в виде рекомендуемых зазоров по всем формирующим клеткам стана. На примере алгоритма видно, что рекомендуемые зазоры являются результатом многократной проверки текущих величин межвалковых зазоров при условии отсутствия межклетьевого натяжения.

Прекращение цикла проверки пробных зазоров происходит в тот момент, когда полученный конечный профиль удовлетворяет заданному условию точности. Рабочие варианты программы на ЭВМ с микропроцессором 80386 33 МHz занимают от 2-3 до 40 с (при особо сложных технологических задачах) для расчета и выдачи готового решения. На современных персональных ЭВМ зачастую поиск решения по настройке может занять меньше одной секунды.

Полученные результаты были использованы для автоматизированной адаптивной системы управления настройкой сортового стана, в которой, согласно рис. 2.1, прокатный стан является объектом, базы данных по калибровке, износу и ряду других параметров, определенным образом включенные в структуру модели, являются идентификатором, связывающим выход объекта $y(t)$ (в нашем случае b_i) с его вектором входа $x(t)$ (в нашем случае b_{i-1}), а регулятором служит подсистема изменения межвалкового зазора.

2.7. Общая структура алгоритма адаптивной математической модели настройки стана

Общая структура алгоритма представлена на рис. 2.4.

Для моделирования реального процесса прокатки в математическую модель введены блоки, учитывающие факторы, существенно влияющие на ход и параметры прокатки: износ, температуру, диаметр валков, марку стали. Это происходит в подсистемах учета и расчета поправок:

- корректировки векторов (сечений) с учетом износа валков;
- поправки инвариантов матрицы формоизменения с учетом варьирования температуры;
- поправки инвариантов матрицы формоизменения с учетом варьирования диаметров валков;
- поправки инвариантов матрицы формоизменения с учетом варьирования предела текучести (марки стали).

Для отражения процесса настройки стана как такового, то есть сведения или разведения валков, служит подсистема настройки, моделирующая изменения зазора между валками в клети (подробнее см. п. 2.6), фиксирующая возникающее при этом состояние профиля и вносящая соответствующие поправки в алгоритм формоизменения, проверяющая удовлетворение геометрических размеров профиля требуемому стандарту.

Более подробно структура модели и взаимосвязь ее блоков описана далее (п. 4) на примере учебного варианта системы настройки сортового стана OFF LINE.



Рис. 2.4. Общая блок-схема модели настройки сортового стана

3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНОЙ МОДЕЛИ НАСТРОЙКИ НЕПРЕРЫВНОГО СТАНА

3.1. Режим "ON LINE"

Разработанная модель настройки стана позволяет обрабатывать параметры настройки за время протекания процесса, что подтверждает целесообразность применения автоматизированной системы управления настройкой стана на базе этой модели.

Система настройки в режиме ON LINE, то есть задействованная непосредственно в комплексе систем управления, состоит из:

- программы управления базами данных, где происходит сбор и обработка информации, накопленной первоначально, а также поступающей в процессе работы системы;
- модели процесса, проектирующего настройку, причем модель обменивается информацией с базами данных, получая текущие входные параметры из системной шины; результатом функционирования модели являются параметры настройки - величины зазоров по клетям или величины их коррекции и рекомендуемые скорости вращения электродвигателей главных приводов;
- адаптационной модели, цель которой - самоадаптация модели процесса к условиям конкретного сортопрокатного стана;
- интерфейса, который обеспечивает передачу информации от модели процесса на исполнительные устройства объекта управления и от системной шины к модели;
- объекта управления (сортопрокатного стана) с исполнительными устройствами (нажимные механизмы и электропривод клетей).

Варианты реализации АСУ управления настройкой сортового стана и взаимодействия ее составляющих представлены на рис. 3.1.

3.2. Режим "ON LINE OPEN LOOP"

Появление данного варианта вызвано этапностью применения автоматизированных систем к настройке сортовых станов. Режим "ON LINE OPEN LOOP" является переходным от "OFF LINE" к полному "ON LINE". Как видно из рис.3.1. "ON LINE OPEN LOOP" также характеризуется наличием обратной связи между объектом управления (сортопрокатный стан) и автоматическим управляющим устройством (модель процесса, базы данных, адаптационная модель), обеспечивающим самоадаптацию модели процесса.

Параметры настройки, вырабатываемые моделью процесса, не поступают на исполнительные устройства стана непосредственно через интерфейс, минуя технологический персонал, а носят рекомендательный

характер. Таким образом, "петля" получается не замкнутой. На этапе внедрения АСУ в производство этот момент дает ряд плюсов, обеспечивая:

- проверку устойчивости работы АСУ в целом и ее отдельных составляющих;
- проверку соответствия работы математического обеспечения в комплексе с адапционной моделью реальному процессу прокатки и настройки;
- в случае необходимости, доводку отдельных блоков системы и внесение корректив в функционирование самой модели без каких-либо производственных издержек.

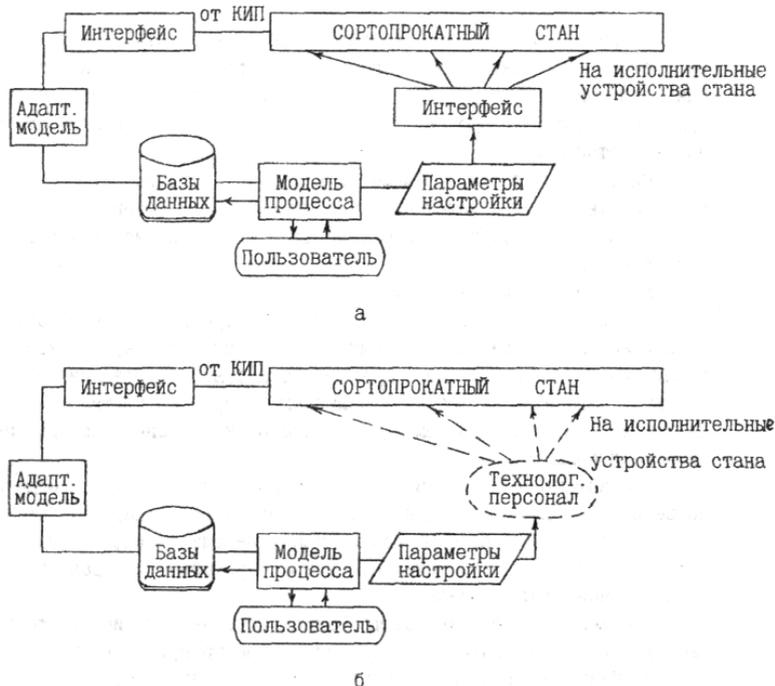


Рис. 3.1. Схема взаимодействия составляющих АСУ настройки стана при режимах работы: а - "ON LINE" и б - "ON LINE OPEN LOOP"

Указанные выше варианты АСУ настройки стана повышают эффективность работы технологического персонала (страховка от случайных ошибок) и технологического оборудования (рациональные эксплуатация и использование мощностей) и являются взаимосвязанными этапами внедрения системы настройки в производство.

3.3. Принципы связи модели настройки с системой минимальных натяжений

Разработанная модель настройки стана ориентирована на связь с системой минимальных натяжений (натяжений раската, при которых возникающие напряжения не приводят к пластической деформации между клетями) в единой системе управления.

Основным параметром, связывающим эти две системы, является скорость двигателя главного привода каждой прокатной клетки. С одной стороны, рекомендуемые скорости двигателей являются одним из результирующих параметров настройки, с другой стороны, фактические значения скоростей при корректировании их системой минимальных натяжений должны играть роль входного параметра (возмущающего воздействия) для алгоритма настройки зазоров.

Таким образом, между системой настройки и системой минимальных натяжений должна быть организована обратная связь по параметрам скорости двигателей. Определенные пороговые значения скоростей в системе регулирования натяжений инициируют включение системы регулирования зазоров.

Организационно такая связь выглядит следующим образом.

После проведения первоначальной настройки по параметрам из шины данных стан начинает работу. По мере истечения времени в шину поступает со стана информация о текущих скоростях. Эти данные сравниваются с первоначальными данными (т.е. данными, располагающимися в определенном, допустимом интервале допусков). Как только произойдет изменение режима работы стана и скорость вращения приводного двигателя будет вне контрольного интервала вследствие либо переполнения, либо недозаполнения калибра, с этого момента подается сигнал для включения системы настройки стана.

Указанный контрольный интервал скоростей находится в соответствии с допусками отклонений размеров готового профиля. С целью получения универсальной формы учета различных полей допусков можно привести следующие выкладки:

Принимаем определенный диапазон допусков на размер:

d, мм	5 ÷ 10	10 ÷ 20
Δd, мм	+ 0,2	+0,1
	-0,5	-0,5

В нашем случае считаем, что рациональнее размеры профиля представлять площадью поперечного сечения.

Отсюда запись: $5 < d < 10;$

$- 0,5 < \Delta d < 0,2$

преобразуется в: $19,6 < F < 78,5;$

$$\left(\sqrt{\frac{4F}{\pi} d + Z} \right)^2 \cdot \frac{\pi}{4} < Fn < \left(\sqrt{\frac{4F}{\pi} d + Q} \right)^2 \cdot \frac{\pi}{4}.$$

следовательно, получаем таблицу 3.1

Таблица 3.1

Допуск по площади для круглой стали

n	1	2	3	4	5	6	
d _{ном}	5 ÷ 10	10 ÷ 20	20 ÷ 25	25 ÷ 50	50 ÷ 60	60 ÷ 80	
F _n , мм ²	19,6 ÷ 78,5	78,5 ÷ 314	314 ÷ 490	490 ÷ 1963	1963 ÷ 2826	2826 ÷ 5024	
Точность							
Обычная	Z	-0,5	-0,5	-0,5	-0,7	-1,0	-1,1
	Q	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5
Повышенная	Z	-0,5	-0,5	-0,7	-0,7	-1,0	-1,1
	Q	0,5	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3
Высокая	Z	-0,2	-0,3	-0,3	-0,5	-0,8	-0,9
	Q	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3

Так как при прокатке металла в калибрах на непрерывном стане выполняется закон постоянства секундных объемов, то можем найти интервал допусков скоростей привода W прив. а именно:

$$F_i \cdot V_i = \text{const};$$

$$W \text{ прив.} = 60000 \cdot V_i / Dk \text{ i};$$

$$V_i = W \text{ прив.} \cdot Dk \text{ i} / 60000$$

Пусть

$$Dk \text{ i} / 60000 = G,$$

тогда закон постоянства секундных объемов запишется

$$F_i \cdot W \text{ прив.} \cdot G = \text{const или } C.$$

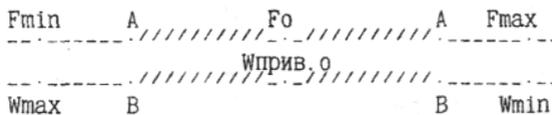
Следовательно:

$$F_i = C / W \text{ прив.} \cdot G,$$

то есть, если будет происходить изменение скорости, соответственно изменится площадь F_i в сторону увеличения (переполнение калибра) или в сторону уменьшения (недозаполнение калибра).

Обратная зависимость приводит к интервалу соответствующих допусков скоростей:

$$W \text{ прив.} = C / F_i \cdot G$$



Интервалы AA и BB являются интервалами работы системы минимальных натяжений, в которых регулирование зазоров не требуется. То есть в этом интервале стан может работать с минимальными натяжениями и подпорами или вообще без них.

В случае отклонения скоростей привода за указанные интервалы, что опосредовано отражает отклонение геометрических размеров за пределы допуска, в результате воздействия какого-либо фактора начинает работу модель настройки стана.

В последней клетке стана (для которой ведется расчет), выставляется такой зазор, чтобы ему соответствовала высота выходящего раската, регламентируемая допусками, зазор можем подобрать таким, что высота раската окажется в минусовом поле допусков.

Ширина раската, выходящего из последней клетки, регулируется уменьшением или увеличением зазора в клетях против хода прокатки по алгоритму, описанному ранее. Математическая модель выдает значения рекомендуемых зазоров по клетям и соответствующих им скоростей двигателей главных приводов.

Таким образом, совместное использование нескольких систем регулирования параметров прокатного стана с подключением их в единую информационную среду (системную шину) позволяет значительно расширить возможности настройки стана в процессе его работы в реальном масштабе времени.

3.4. Требуемые возможности главной линии клетей стана при использовании системы настройки в режиме "ON LINE"

Кроме обоснования расположения нажимных винтов возникает необходимость сказать о тех характеристиках, которыми должны обладать клетки стана, на котором предполагается возможность использования предложенной модели.

Для того, чтобы использовать разработанную математическую модель настройки сортового стана с максимальной отдачей, необходимо установить:

1. ЭВМ, содержащую в себе программу модели настройки стана и базу данных по характеристике технологических факторов оборудования.

2. Электрические нажимные устройства, сочетающие в себе быстроедействие, обеспечивающее перемещение вала на 1 мм в течение 1,5 с и точность установки валков не менее 0,1 мм.

3. Если модель будет использоваться на станах с грубыми нарушениями технологии (изменение прочности металла $\sigma = 5 \text{ кг/мм}^2$ и вариация температуры в диапазоне 50 °С) или при работе с большим износом калибров, то необходимо использование мощных электродвигателей в главном приводе, т. к. в таких случаях модель сможет отработать ситуацию со значительным перераспределением вытяжек по клетям, что может отразиться на загрузке двигателей.

4. В случае совместного использования на стане нескольких систем регулирования, например системы минимальных натяжений и регулировку зазоров (предлагаемая модель), целесообразно установить связь (обмен информацией) между ними, тем самым назначив моменты их включения и выключения и границы их локальной и совместной работы (по принципу, описанному ранее). Так, для системы регулирования зазоров станет важной информация о силе тока на якоре приводного двигателя валков. Конечно, в приведенном выше случае предполагается индивидуальный привод всех клетей, где осуществляется скоростное регулирование и, соответственно, возможность плавного изменения скорости.

Главным требованием все же является наличие нажимных устройств высокой точности, так как это позволит осуществить быструю настройку на заданный профиль даже на реконструируемых станах с групповым приводом, которые сейчас еще используют на ряде заводов.

4. УЧЕБНЫЙ ВАРИАНТ АДАПТИВНОЙ МОДЕЛИ НАСТРОЙКИ СТАНА

На основе положений, изложенных в предыдущем разделе и рабочих вариантах адаптивной модели настройки сортового стана реализован учебный вариант модели, имеющий следующую смысловую структуру (рис. 4.1):

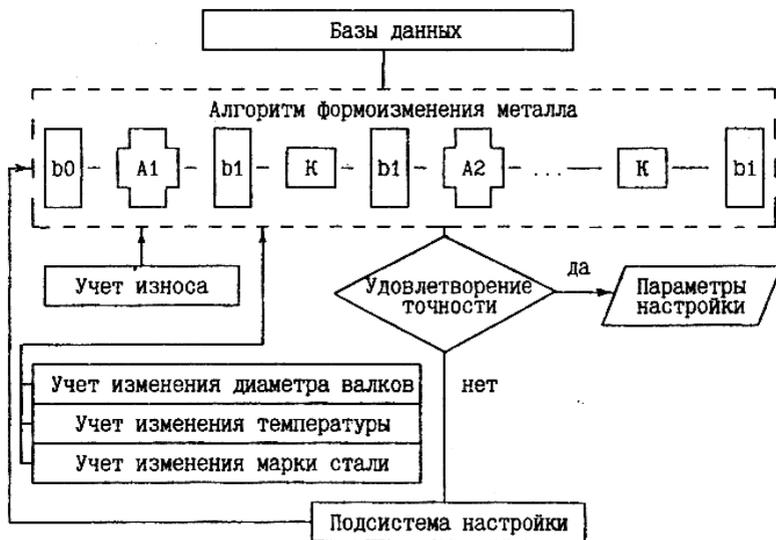


Рис. 4.1. Структурно-смысловая схема математической модели сортового стана

Разработанная на основе матричного подхода учебная модель настройки стана позволяет моделировать настройку и подсказать пользователю возможное верное решение за время, соизмеримое со временем протекания процесса, или даже опережая реальный масштаб времени. Это говорит и о практических возможностях автоматизированной системы управления настройкой сортовых и проволочных станов. Но при этом учебный вариант модели работает по принципу OFF LINE, т. е. не связан жестко с управлением конкретного объекта.

Учебный вариант системы настройки (рис. 4.2) организационно состоит из:

- базы данных, где происходит сбор и обработка информации, накопленной первоначально и поступающей в процессе работы АСУ;
- модели процесса, проектирующего настройку, причем модель обменивается информацией как с базами данных, так и с пользователем, работая в режиме дружеского интерфейса; результатом функционирования модели являются параметры настройки;
- сравнительно-аналитического блока, который заключает в себе работу по оценке способности модели адекватно реагировать на вносимые изменения параметров прокатки.

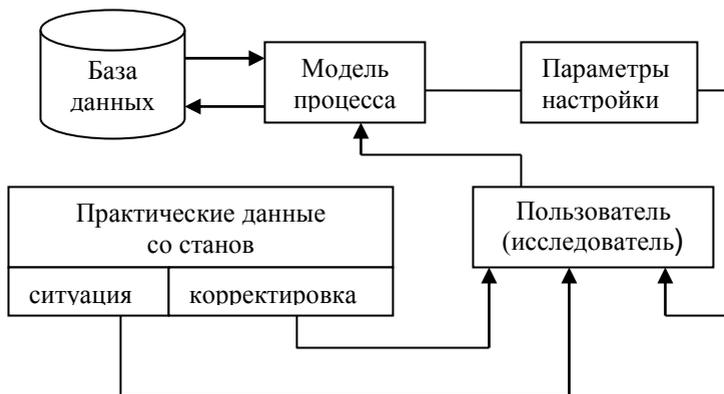


Рис. 4.2. Организационная структура учебного варианта системы настройки OFF LINE

Работа математической модели настройки сортового стана осуществляется при помощи программных средств, которые являются основной частью автоматизированной системы управления настройкой стана в режиме OFF LINE. Они позволяют формировать базы данных и моделировать настройку для непрерывных сортовых и проволочных станов любой конфигурации, предлагая пользователю возможные варианты технологических решений за время, соизмеримое со временем протекания технологического процесса.

При этом выходными параметрами настройки являются:

- рекомендуемые зазоры между валками;
- рекомендуемые скорости прокатки в клетях, исходя из условия отсутствия натяжений;
- соответствующие скорости двигателей главных приводов прокатных клетей.

Подробное описание программных средств и инструкции по их использованию приведены в разделе 7.

4.1. Принципы функционирования адаптивной математической модели настройки стана

В основе функционирования математической модели лежит алгоритм формоизменения металла, который является универсальным. Для адаптации к конкретному сортовому стану составляется база данных, отражающая присущие только этому стану особенности технологии, калибровки и т.д. На основании собранных данных алгоритм формоизменения моделирует процесс прокатки на данном стане. В случае необходимости проектировать процесс прокатки на другом конкретном стане необходимо лишь указать другую калибровку или стан, из имеющихся в базе данных, алгоритм при этом не претерпевает никаких изменений, что очень удобно пользователю математической модели и удовлетворяет требованиям (п.п. 2.1) к адаптивным системам управления.

Реальный процесс прокатки характеризуется изменяющимися параметрами: постоянно происходит износ валков., температура прокатки колеблется (хотя и в довольно узком интервале), происходит смена марочного сортамента, валки перетачиваются. Для учета всех этих факторов в математической модели предусмотрено оперативное вмешательство в алгоритм формоизменения с целью внесения поправок, сформированных в соответствующих подсистемах. Пользователь или информационная система вносит в расчет те или иные изменяющиеся технологические параметры, величину этого изменения, далее модель прогнозирует, как это отразится на процессе формоизменения. Естественно, каждое изменение параметра может повлечь за собой отклонения геометрических размеров профиля от требуемого стандарта. Для стабилизации геометрических размеров профиля в диапазоне допусков необходимо произвести корректировку зазоров между валками, что моделируется в подсистеме настройки сортового стана. В данной подсистеме любое изменение зазора между валками в клети имеет отражение в векторе b_i , описывающем состоянии профиля после выхода из i -й клети.

Изменение в векторе b_i поступает в алгоритм формоизменения, где с учетом данного изменения прогнозируется изменение готового профиля. Происходит сверка соответствия получаемого профиля стандартному.

В случае отклонения от допуска настройка повторяется до момента достижения требуемых геометрических параметров готового профиля.

Таким образом, матричный подход к описанию процесса формоизменения на стане позволяет моделировать работу стана так, что каждому технологическому объекту, операции или фактору соответствует определенный математический объект векторно-матричной модели. При этом используемая структура разработанной математической модели позволяет осуществлять "блочную работу" так, что применение модели для различных станов требует лишь замены блока с базами данных и не затрагивает основных программных модулей. Это свойство модели, несомненно, повышает степень ее адаптивности.

Механизм настройки стана начинает работать в случае предельного отклонения размеров сечения профиля в результате воздействия какого-либо фактора.

В последней клетке, которую охватывает предлагаемая математическая модель, выставляется такой зазор, чтобы ему соответствовала высота выходящего раската, регламентируемая допусками. Причем зазор последней клетки можно подобрать таким образом, что высота раската окажется в поле минусовых допусков.

Ширина выходящего из последней клетки раската регулируется сведением или разведением валков в клетях по направлению против хода прокатки. В результате варьирования зазорами этих клеток добиваются регламентируемого стандартами заполнения в последней клетке (для рабочего варианта модели - 1.5 %). Причем можно добиться заполнения, соответствующего минусовому полю допусков. В процессе регулирования зазорами может сложиться критическая ситуация: переполнение калибра, превышающее максимально допустимое, сведение или разведение валков больше регламентируемой величины. В этом случае клетка, где произошла данная ситуация, не участвует в процессе подстройки до тех пор, пока ограничения не будут сняты.

Исходными данными для настройки стана являются параметры, которые получаются после расчета формоизменения с учетом поправок на износ, марку стали, температуру, диаметры валков (см. рис. 4.1) при условии, что в результате воздействия вышеперечисленных параметров геометрия выходящего профиля не попадает в рамки допусков.

После установления требуемого зазора в последней клетке осуществляется ряд итераций по достижению оптимального заполнения в последней клетке. После каждой итерации происходит проверка на удовлетворение точности. Если требуемая точность не достигается, то уточняется шаг настройки, анализируется и в случае необходимости корректируется изменение межвалкового зазора (сам процесс настройки) в предыдущих клетках.

При удовлетворении требуемой точности происходит остановка итераций, текущие значения параметров настройки стана (межвалковые зазоры, скорости по клетям) становятся рекомендуемыми и выдаются пользователю.

Таким образом, выбранный алгоритм настройки полностью удовлетворяет требованию к работе адаптивных систем управления (см.п. 2.1), заключающемуся в простоте реализации алгоритма и в использовании существующих вычислительных машин с условием работы модели в реальном масштабе времени. Практическая адаптивность алгоритма настройки межвалкового зазора и стана в целом выражается в способности адаптации схемы алгоритма под конкретные условия:

- установка требуемых допусков на конечный размер профиля;
- закрепление жестких рамок на высоту калибра и их вариация;
- дифференцирование допусков по высоте и ширине в клетях стана;
- использование различных вариантов участия клеток в настройке.

Иначе, уставки алгоритма настройки могут меняться в разных направлениях, но достижение требуемого результата будет происходить на базе первоначальной структуры алгоритма.

4.2. Оценка точности работы модели

Для любого выходного параметра, согласно требованию к адаптивным системам управления, важной характеристикой является точность полученного результата. Причем здесь можно говорить о двух направлениях, каждое из которых имеет важное значение.

Так, параметр "точность" можно оценивать по величине отклонения подсчитанного результата от полученного на практике. В этом случае сходимость зависит от адекватности моделирования процесса и от используемого математического аппарата. В представленной модели использованы как аналитические зависимости, обеспечивающие высокую сходимость, так и эмпирические, обладающие погрешностью в пределах до 7-9 %. Поэтому допустимо полагать, что результаты моделирования не могут существенно отличаться от практических.

Более подробно рассмотрим точность как параметр, характеризующий возможность модели рассчитывать результирующие значения с заданной точностью числа (количество знаков после запятой). Разработчики часто стремятся достичь очень высокой точности значения рассчитываемой величины. Но при этом следует учитывать предназначение и цель дальнейшего использования результата.

В данной работе нас должны интересовать следующие характеристики:

- точность выходных параметров (W, D, b_i);
- точность описания вариаций контуров калибров: описание износа;

аналитическая модель регулируемого параметра Δt ;

- точность описания кантовки;

- точность выходного параметра b_n .

Рассмотрим перечисленные характеристики по отдельности.

* Входящее в i -ю клетку сечение. Модель позволяет описать контур калибра радиус-векторами. Значение длины каждого радиус-вектора определяется с точностью до 0,01 мм, что вполне удовлетворяет производственным условиям, так как даже самые строгие допуски ориентированы на пять сотых долей миллиметра.

* Диаметр рабочих валков. Учитывая варьирование размера валков, модель ориентируется на изменение диаметра с точностью до одного миллиметра. С практической точки зрения этого достаточно исходя из нормирования конусности валков [6].

* Окружная скорость вращения валков. В модели предусмотрено измерение скорости вращения двигателя (об/мин) с учетом всех трансмиссионных передач момента вращения к рабочим валкам.

* Вариация контуров калибров при износе.

- Износ представляется в матричном виде. Радиус-векторы описываются с точностью до 0.01 мм, что полностью удовлетворяет современным запросам по геометрии профиля.

- Аналитическая модель расчета изменения зазора позволяет выдерживать определение размера с точностью до нескольких знаков после запятой, что позволяет округлить значение до требуемого (0,05 мм) и даже уточнить его. Значение 0,05 обусловлено возможностью обеспечения точности работы нажимных устройств клетки при изменении межвалкового зазора в условиях работы стана. Таким образом, точность зазора, рассчитываемого моделью, не ниже точности работы современных нажимных устройств.

* Кантовка. Математическое представление кантовки в модели оказывает влияние на изменение точности, потому что на практике оператор кантовки просто изменяет расположение сечения профиля в пространстве, поворачивая его на нужный угол (90 гр.).

* Выходной размер профиля. Что касается выходного параметра b_n , описывающего размеры и форму конечного сечения профиля, то он также определяется с точностью до 0.01 мм для каждого радиус-вектора.

Таким образом, главными критериями точности определения размеров являются возможности механизмов стана и основополагающие стандарты на готовую продукцию. Представленная модель полностью удовлетворяет современным требованиям к степени точности расчета параметров и, следовательно, может быть принята для использования как обучающая система, как проектно-конструкторский инструмент и как система-советчик на действующих станах.

5. РАБОТА МОДЕЛИ НАСТРОЙКИ НА ПРИМЕРЕ ПАРАМЕТРОВ ДЕЙСТВУЮЩИХ СТАНОВ

Пример 1

Влияние износа валков на формоизменение и настройку сортовых станов можно продемонстрировать на базе данных стана 370 ММК, который были собраны по параметрам подстройки черновой группы клетей после прокатки 500 тонн металла, а также по основным технологическим параметрам (температура прокатки, марка стали, переточка прокатных валков). На основании этих данных можно моделировать настройку черновой группы и получить рекомендуемые параметры настройки - величины межвалковых зазоров (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Величины зазоров черновой группы стана 370 ММК

Параметры настройки, полученные со стана и спроектированные программой	Клетки черновой группы					
	1	2	3	4	5	6
Начальные зазоры, мм	11,0	7,0	11,0	5,0	7,0	5,8
Зазоры после настройки:						
со стана, мм	10,0- 8,5	6,5- 6,00	9,0- 7,7	4,2- 4,00	6,0- 4,5	4,0- 3,2
по программе, мм	10,9	7,1	10,9	5,1	6,8	5,38
Разница в зазорах:						
со стана, мм	- 1,0 -2,5	-0,5 -1,0	-2,0 -3,3	-0,8 -1,0	- 1,0 -2,5	- 1,8 -2,6
по программе, мм	-0,1	0,1	-0,1	0,1	-0,2	-0,42

Пример 2

Для черновой группы проволочного стана 150 Белорецкого металлургического комбината смоделирована ситуация прокатки базовой стали 70 при изменении температуры нагрева заготовки (табл. 5.2). Из таблицы видно, что каждое понижение температуры требовало вмешательства в настройку стана, в частности в виде коррекции существующих зазоров в клетях подгруппы. Причем явно просматривается целенаправленное срабатывание модели при разрешении подобных ситуаций (случаи 1 и 2) и моделировании противоположенного влияния фактора температуры (случаи 1 и 3).

Таблица 5.2

Настройка черновой группы клеток стана 150 БМК

Ситуация	Изменение зазоров по клетям ГРУППЫ, мм			
	Клеть 8	Клеть 9	Клеть 10	Клеть 11
$T_0 = 1170^{\circ}\text{C}$ $T_1 = 1070^{\circ}\text{C}$	-2,1	2,3	-2,2	0,0
$T_0 = 1170^{\circ}\text{C}$ $T_1 = 1100^{\circ}\text{C}$	-1.5	1,7	-1,6	0,0
$T_0 = 1170^{\circ}\text{C}$ $T_1 = 1200^{\circ}\text{C}$	4,4	-0,2	2,8	0,0

Знак "-" обозначает необходимость уменьшения зазора.

Действительно, понижение температуры нагрева заготовки приводит к увеличению сопротивления металла деформации, следовательно, вытяжка уменьшается и к одиннадцатой клетке подается заведомо большее сечение (избыток металла). Для компенсации влияния этого фактора модель предлагает уменьшить подаваемое сечение путем сведения валков в 10 и 8 клетях. Такие действия вполне оправданы и совпадают с действиями вальцовщиков, обслуживающих стан в подобной ситуации.

Увеличение зазора в 9 клетке не является основополагающим фактором, так как калибр, применяемый в это клетке, относится к равноосному типу (как показали исследования, мало влияющему на размеры конечного профиля даже при значительном изменении зазоров в таких клетях). Увеличение зазора в 9 клетке можно объяснить следующим: при сведении валков в 8 клетке возможен случай переполнения, и ширина выходящего из 8 клетки профиля будет превышать планируемую. После кантовки такого раската неизбежен затруднительный захват металла валками 9 клетки. Для устранения возможного застревания раската модель отрабатывает увеличение межвалкового зазора.

Пример 3

Для первой промежуточной группы клеток того же стана был взят случай постепенного уменьшения диаметра валков по мере их переточек.

Из табл. 5.3 следует, что при уменьшении диаметра валков наблюдается неоднозначная картина поведения межвалкового зазора. На примере данной калибровки можно сказать, что для овальных калибров необходимо увеличение зазора, а для ребровых овалов требуется сведение валков, причем малые изменения диаметров валков значительно сказываются на зазорах в калибрах ребровой формы, а дальнейшее уменьшение диаметра валков по мере переточек относительно сглаживает влияние на все калибры и требует практически равного изменения за-

зоров в процентном отношении, оставляя тенденцию уменьшения зазора для ребровых овалов и увеличения зазоров для овалов.

Таблица 5.3

Настройка клеток первой промежуточной группы стана 150 БМК

Ситуация	Изменение зазоров по клетям ГРУППЫ, мм					
	Клеть 12	Клеть 13	Клеть 14	Клеть 15	Клеть 16	Клеть 17
Валки после 2-х переточки	0,0	-0,2	0,0	-0,2	0,1	0,0
Валки после 3-х переточек	0,1	-0,3	0,2	-0,4	0,2	0,0
Валки после 5-ти переточек	0,5	-0,7	0,5	-0,7	0,5	0,0
Валки после 6-ти переточек	0,7	-0,9	0,7	-0,9	0,7	0,0

По данным технологического персонала стана аналогичный принцип подстройки по калибрам используется при переходе на комплекты валков, подвергнутых переточке.

Пример 4

Для второй промежуточной группы клеток стана 150 БМК были рассмотрены следующие случаи (табл.5.4):

- уменьшение диаметра по мере переточек;
- снижение температуры раската;
- смена марки стали на более прочную.

Таблица 5.4

Настройка клеток второй промежуточной группы стана 150 БМК

Ситуация	Изменение зазоров по клетям группы, мм			
	Клеть 18	Клеть 19	Клеть 20	Клеть 21
Уменьшение диаметра валков, 3 переточки	0,0	-0,2	0,1	0,0
Уменьшение температуры начала прокатки с 1170 до 1120°C	-0,2	0,4	-0,2	0,0
Увеличение прочности стали (предел текучести увеличен на 7 кг/мм ²)	0,0	0,2	-0,1	0,0

Для случаев изменения каждого технологического фактора видно, что характер изменения межвалкового зазора полностью схож с аналогичными ситуациями в ранее рассмотренных группах, что соответствует действительности и подтверждается режимами подстройки, используемыми технологами стана 150 БМК.

При одновременном изменении нескольких параметров система настройки моделирует не только влияние каждого отдельного фактора, но и учитывает изменения состояний стана при одновременном воздействии нескольких технологических факторов.

Последнее замечание следует отнести к значительным плюсам предложенной модели, так как она позволяет рассчитать режимы настройки при изменении комплекса факторов, что затруднительно для технологов, получающих информацию на эмпирическом уровне со стана. Выбор рационального режима подстройки при эмпирическом подходе возможен. В таких случаях технологический персонал стана компенсирует неправильную подстройку клеток интуитивным регулированием скоростного режима, что неоднозначно влияет на геометрические размеры раската по длине и неприемлемо при скоростях прокатки современных станов.

6. МЕТОДЫ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИ НАСТРОЙКИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Для эффективного ознакомления с приведенными ниже методами исследования технологических схем рекомендуется параллельно изучению материала вести компьютерное моделирование описываемых в примерах ситуаций при помощи учебного пакета программ SORT [7] с использованием прилагаемых баз данных [8] по ряду станов и калибровок.

Из многих факторов процесса прокатки значительное влияние на точность размеров проката оказывают конструктивные и технологические характеристики рабочих клеток и целых непрерывных групп. Ниже представлена методика и некоторые примеры использования предлагаемой модели в целях выбора рациональных путей настройки клеток в конкретных технологических схемах.

Модель позволяет определить влияние межвалкового зазора в клетках стана на возможность настройки для рационализации размещения нажимных устройств по клетям стана, выявив отдельные клетки и подгруппы клеток, наиболее существенные для настройки. Кроме этого, имеется возможность определения непрерывных групп клеток станов, в лучшей степени компенсирующих колебания технологических факторов, и групп, наиболее чувствительных к колебаниям геометрических разме-

ров. Получение такой информации на базе предлагаемой модели позволяет рационально выбрать места размещения автоматических исполнительных механизмов и локализовать ключевые места конкретной технологической схемы (стана), требующие контроля геометрии или других параметров.

6.1. Метод определения рационального задействования клеток при настройке сортопрокатного стана

В предлагаемой модели рассматривается вариант пошаговой настройки стана против хода прокатки. В каждой клетке происходит единичное смещение валков клетки на заданную величину. Когда воздействие доходит до первой клетки исследуемой подгруппы, происходит проверка условия на заполнение последней клетки подгруппы. Если полученное заполнение неудовлетворительно, тогда происходит циклическое повторение операции настройки. Для выявления клеток, наиболее влияющих на формоизменение, некоторые клетки отключались из процесса настройки (программа настройки позволяет отключать из процесса регулирования зазора любые клетки).

Предлагаемая методика исследования позволяет для любой компоновки стана выявить те клетки, которыми можно осуществлять рациональную настройку и которые, в первую очередь, целесообразно снабдить автоматическими нажимными винтами в случае применения системы автоматизированной настройки.

Рассмотрим примеры для проволочного стана 150 БМК при прокатке катанки диаметром 10 мм. Чистовой проволочный блок исключается из задачи как элемент стана, не участвующий в настройке. В качестве конечного сечения рассмотрим сечение профиля, выходящего из последней клетки перед чистовым блоком (клеть 21).

Каждая из подгрупп стана 150 БМК должна рассматриваться отдельно по следующим причинам:

- сечение, выходящее из предыдущей подгруппы, должно максимально соответствовать сечению, необходимому для первой клетки последующей подгруппы, поэтому логично будет отслеживать и устранять отклонения в каждой подгруппе стана. Такой подход улучшает условия работы последующей подгруппы и снижает вероятность образования закатов и других дефектов;

- при оснащении стана измерителями геометрических размеров предпочтительно установить их перед чистовым блоком и за каждой подгруппой.

Пример 5. Черновая группа (7 - 11 клетки).

Валки 7-й клетки представляют собой "гладкую бочку", и из-за этого данная клетка исключается из настройки, так как формоизменение в такой клетке невозможно представить по единой предложенной схеме векторно-матричного подхода.

Клетка N 11 также исключается из настройки (кроме случая с износом), так как является контрольной для настройки подгруппы.

Рассмотрим настройку данной подгруппы при изменении:

- диаметра валков с учетом переточек с 480.00 на 435.00 мм;
- температуры начала прокатки в группе, соответствующей изменению температуры нагрева заготовки с 1170 на 1070 °С.

При изменении диаметра валков с целью выявления влияния клеток на качество и скорость настройки предпочтительным вариантом настройки можно легко определить вариант с отключением клетки N 9, то есть эффективнее при требуемой точности 0,1 мм настройку стана произвести с помощью клеток N 8 и N 10.

При изменении температуры начала прокатки, соответствующей изменению температуры нагрева заготовки, можно также просчитать предпочтительный вариант настройки стана с помощью 8-й и 10-й клеток с точностью до 0,10 мм.

Таким образом, расчеты показывают, что клетки с равноосными калибрами не оказывают существенного влияния на процесс настройки стана. По результатам исследования целесообразно производить настройку стана с помощью клеток с неравноосными калибрами, а именно существенное влияние на процесс настройки подгруппы стана оказывают 8-я и 10-я клетки, которые и предлагается снабдить автоматическими нажимными винтами.

Пример 6. Первая промежуточная группа (12 - 17 клетки).

Клетка N 17 исключается из настройки, так как является контрольной (в нашем случае зафиксированной).

В процессе расчетов изучим режимы настройки стана:

1. При изменении диаметра валков с 380 на 340 мм. Наиболее близкими к решению данной задачи можно определить следующие комбинации клеток, участвующих в настройке:

- все клетки;
- клетки 12, 14, 16;
- клетки 12, 13, 14, 16;
- клетки 12, 14, 15, 16.

Эти варианты имеют незначительные отклонения друг от друга по количеству итераций и изменениям зазоров. Но из всех вариантов наиболее приемлемым считаем вариант с участием клеток с неравноосными калибрами, а именно вариант настройки, в котором задействованы 12-я.

14-я, и 16-я клетки (минимум клеток, при котором достигается задача настройки).

При отключении из процесса настройки клеток с неравноосными калибрами N 12, N 14, N 16 (в различных сочетаниях):

- клетки 13, 14, 15 (отключены клетки 12, 16);
- клетки 13, 15, 16 (отключены клетки 12, 14);
- клетки 12, 13, 15 (отключены 14, 16),

время работы программы значительно увеличивается, то есть увеличивается количество итераций, снижается корректность и эффективность настройки.

2. При изменении температуры начала прокатки в группе, соответствующей изменению температуры нагрева заготовки с 1170 на 1070 °С.

Для этого случая наиболее приемлемым вариантом считаем вариант с использованием в настройке 12-й, 14-й и 16-й клеток, так как настройка, производимая этими клетями, занимает меньше времени работы модели, то есть имеет меньшее количество итераций по сравнению с другими комбинациями клеток, участвующих в настройке.

3. При изменении марки стали, предел текучести которой увеличился с 43 на 45 кг/мм².

При проведении эксперимента можно видеть, что заполнение во всех клетях превышает допустимое значение 1,5 %. Но посредством настройки заполнение в последней клетке подгруппы (клетка N 17) находится в интервале $\pm 1,5$ % (нормальное заполнение).

Участие в настройке неравноосных калибров оказывает большое влияние на процесс настройки. Количество итераций по сравнению с вариантом участия в настройке всех клеток и клеток N 12, N 14, N 16 увеличивается на одну итерацию, то есть с 47 до 48 итераций, при этом клетки с равноосными калибрами можно не включать в настройку и не снабжать их автоматическими нажимными винтами.

Таким образом, приведенный пример показывает, что клетки с равноосными калибрами не оказывают существенного влияния на процесс настройки стана. По результатам исследования целесообразно производить настройку стана с помощью клеток с неравноосными калибрами (12-я, 14-я и 16-я клетки).

Пример 7. Вторая промежуточная группа (18 - 21 клетки).

Клетка N 21 исключается из настройки как контрольная. Рассмотрим варианты комбинаций клеток, участвующих в настройке подгруппы:

- а) все клетки;
- б) клетки с неравноосными калибрами:
 - клетки 18,20;
 - клетка 18;
 - клетка 20.

в) комбинации всех остальных клеток:

- клетки 18,19;

- клетки 19.20;

- клеть 19.

Применим различный шаг, используемый математической моделью настройки (то есть различное единичное смещение валков группы):

- 0,05;

- 0,10.

В процессе работы программы можно заметить следующие закономерности:

1. При изменении диаметра валков с 320 до 290 мм.

Лучшим вариантом с точки зрения заполнения последней клетки подгруппы (клеть N 21) считаем вариант с использованием в настройке 18-й и 20-й клеток.

2. При изменении температуры начала прокатки в группе, соответствующей изменению температуры нагрева заготовки с 1170 до 1070 °С значительное влияние на процесс настройки стана 150 БМК оказывают клетки N 18 и N 20, то есть клетки с неравноосными калибрами.

3. При изменении марки стали, предел текучести которой увеличился с 43 на 45 кг/мм², клетки с равноосными калибрами не оказывают существенного влияния на процесс настройки стана. По результатам исследования целесообразно производить настройку стана с помощью клеток с неравноосными калибрами, а именно, существенное влияние на процесс настройки группы стана оказывают 18-я и 16-я клетки.

По данным примеров 5 – 7 можно сделать вывод, что значительное влияние на процесс настройки стана 150 Белорецкого металлургического комбината оказывают клетки с неравноосными калибрами. Поэтому именно эти клетки лучше всего снабдить автоматическими нажимными устройствами с целью быстрой и точной настройки на профиль.

Описанная методика применима для анализа различных станов.

6.2. Метод сравнительной оценки технологичности настройки различных калибровок

Критерий, характеризующий рациональность использования той или иной последовательности калибров и их геометрических размеров, определен как показатель технологичности настройки. Таким образом, лучшей будет считаться та калибровка, для автоматизированного моделирования настройки которой будет соответствовать меньшее количество итераций счета, а следовательно, и меньшее машинное время. То есть критерий "технологичность настройки" показывает насколько быстро рассматриваемая калибровка приспособлена "поглотить" возможные от-

клонения режима прокатки от номинального (температура, сталь различных марок, износ калибров, смена валков) при совместном регулировании зазоров и скоростного режима.

Для выявления «узких» мест настройки используется определение наиболее и наименее значимых клетей, настройка стана которыми более или менее эффективна в различных технологических схемах.

Характеристиками значимости клетей можно считать критерий приоритетности клетки.

Для исключения субъективной составляющей ошибки при экспертном оценивании баллов значимости клетей принято решение разработать количественную характеристику, связанную с параметрами настройки стана.

Выводы об эффективности настройки делаются на основании величины изменения межвалкового зазора и количества задействованных в настройке клетей.

В качестве количественной оценки влияния межвалкового зазора используется отношение среднего изменения зазора участвующих в настройке клетей к среднему значению зазора до настройки.

От количества клетей, участвующих в настройке, зависит быстрота настройки стана. В ходе разработки критерия было установлено, что его значение зависит как от общего количества клетей, так и от количества клетей, участвующих в настройке, следовательно, необходимо использовать следующую логарифмическую зависимость:

$$K_{\text{приор}} = \frac{\bar{t}_n}{\bar{t}_k} \log_{(k+1)}(n+1),$$

где n – количество клетей участвующих в настройке;

k – общее количество клетей в подгруппе, настройка которой происходит;

\bar{t}_n – среднее изменение зазоров клетей, участвующих в настройке;

\bar{t}_k – среднее значение исходных зазоров в клетях, которые участвуют в настройке стана.

Критерий будет минимальным при отсутствии настройки. Более эффективным является вариант настройки, в котором критерий приоритетности стремится к минимальному значению.

Результаты оценки по такому методу позволяют технологам цехов и специалистам по системам управления вести предметный диалог с разработчиками калибровок о путях совершенствования калибров с целью лучшей управляемости технологическим процессом.

6.3. Метод определения взаимного влияния непрерывных групп стана на колебания параметров и настройку

Эффективное слежение за параметрами процесса с целью получения качественного профиля возможно только в случае отслеживания контрольных параметров (геометрии, температуры и т.д.) на наиболее ответственных участках стана.

Выявление этих участков на проектируемом стане затруднительно и не всегда однозначно. Ответственные участки технологии конкретного стана выявляются, как правило, в период пусконаладочных работ и промышленного опробования. Это не всегда удобно для технологов стана и разработчиков систем управления.

Предлагаемая модель позволяет исследовать технологический процесс нового стана еще на этапе проектирования и выявить особенности, позволяющие рационально конфигурировать элементы системы управления.

В частности, вводя в модель изменения входных параметров, возможные на стане (по отдельности и в комплексе) и настраивая в каждом случае только по одной непрерывной группе, можно выявить, какие группы более чувствительны к колебаниям технологии.

Например, возможна ситуация, когда колебание температуры раската можно компенсировать только настройкой промежуточной подгруппы, а в последующей подгруппе настройка не требуется. Если это подтверждено несколькими вариантами расчета, можно сделать вывод о целесообразности контроля температуры именно перед этой группой с установкой соответствующего датчика.

В аналогичной ситуации с черновой подгруппой можно также заключить, что последующие подгруппы малочувствительны к колебаниям определенных параметров при условии выполнения профиля в черновой группе. Это означает, что для обеспечения стабильности формирования профиля на стане целесообразно контролировать геометрию раската именно на выходе из черновой группы, а не на других участках. Следовательно, может быть рекомендовано место установки соответствующего датчика.

Приведенные примеры индивидуальны для каждого конкретного стана с определенной калибровкой. Они показывают целесообразность моделирования технологического процесса с помощью предлагаемой методики и программных средств для всестороннего учета индивидуальных особенностей станов. Это позволяет вырабатывать корректные и наиболее рациональные решения при текущей эксплуатации стана, проектировании и совершенствовании калибровки и разработке систем управления.

7. ПАКЕТ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ «SORT»

Предлагаемые программные средства предназначены для моделирования режимов настройки сортовых и проволочных станов в режиме "OFF LINE".

Имеется возможность выполнять настройки зазоров и скоростей для любого стана и калибровки, информация о которых была предварительно внесена в базу данных.

Пакет программ управляется программой-диспетчером, позволяющей переходить в два основных режима работы:

- работа с данными (внесение данных о новых станах и калибровках, редактирование существующих данных, удаление данных); в режиме работы с данными осуществляется также выбор варианта (стана и калибровки) из имеющихся для решения задач настройки;

- моделирование настройки стана (выполняет расчеты параметров настройки - зазоров и скоростей для вариаций технологических параметров, задаваемых пользователем).

Такая структура пакета программ делает его универсальным инструментом для решения задач, описанных в разделе 5 настоящего пособия.

Пакет программ снабжен автозагружаемым драйвером, позволяющим пользовательскому интерфейсу работать в режиме русского языка. Вместе с тем, в запросах типа [Да/Нет] применяются символы [Y/N].

Для возможности нормальной работы пакета необходим как минимум персональный компьютер (DX 386/387 66 MHz, HDD, FDD 3.5'), оснащенный операционной системой MS-DOS версии 5.0 и выше.

7.1. Функции диспетчера задач

После запуска диспетчера задач и появления информационной заставки нажатие любой клавиши активизирует основное меню диспетчера (рис.7.1).

При помощи меню диспетчера задач можно выбрать:

- режим работы с данными для внесения и корректировки данных и выбора требуемого варианта задачи для расчета настройки;
- режим выполнения комплекса задач настройки стана;
- выход в операционную систему с подтверждением запроса (Y/N).

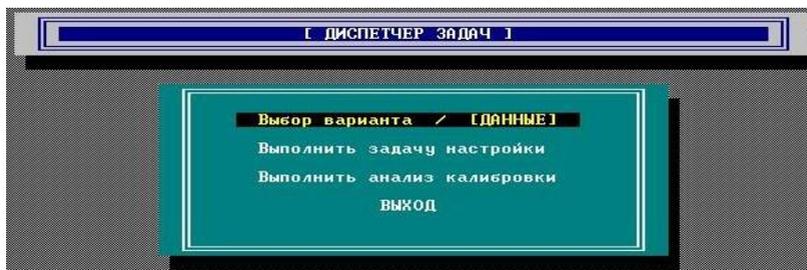


Рис.7.1. Определение режима работы

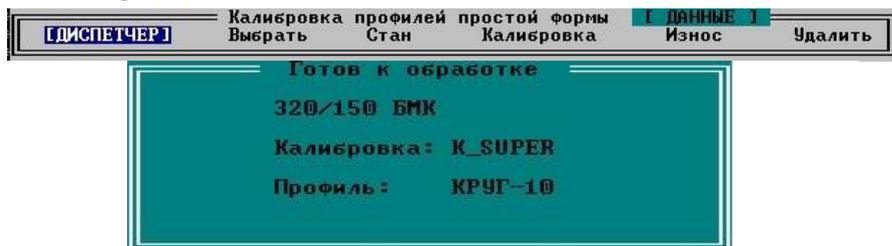
После выполнения задач обработки данных и задачи настройки стана управление всегда возвращается к диспетчеру задач.

7.2. Система подготовки данных

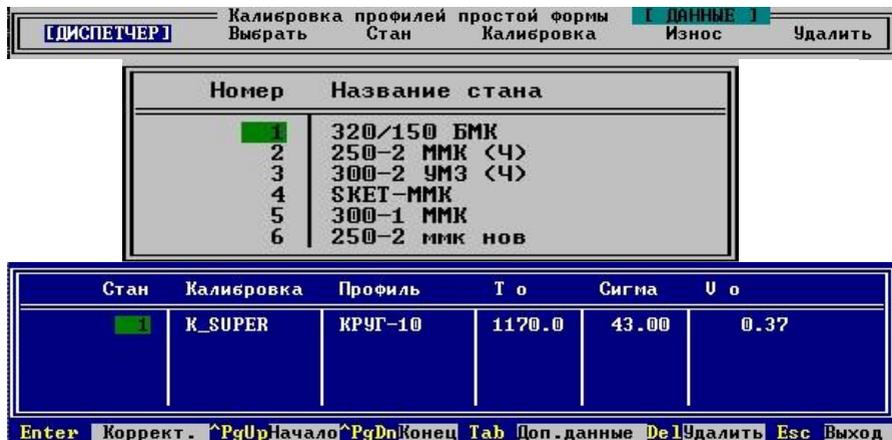
7.2.1. Основные функции меню

Основное меню режима "ДАННЫЕ" (рис.7.2) содержит следующие пункты:

- [ДИСПЕТЧЕР] - возврат в диспетчер задач;
- [Выбрать] - осуществляет выбор варианта для моделирования настройки среди имеющихся данных. Вначале дополнительное меню предлагает выбор стана, а второе дополнительное меню - выбор одной из имеющихся калибровок этого стана для прокатки конкретного профиля (рис.7.3). В режиме данные имеется центральное окно, всегда показывающее вариант, готовый к обработке на текущий момент.
- [Стан] - позволяет дополнять и редактировать данные по конфигурации станов и техническим характеристикам станов.
- [Калибровка] - позволяет редактировать и дополнять базы данных по конфигурации, геометрическим и технологическим характеристикам калибровок для имеющихся в базе станов;



7.2 Меню [ДАННЫЕ]. Выбор стана



7.3. Меню [Данные]. Выбор калибровки

- [Износ] - позволяет редактировать и дополнять базы о геометрических характеристиках калибров, изношенных (изменивших контур) при прокатке определенного тоннажа металла на определенном стане. Первоначально, по умолчанию, база данных по износу автоматически заполняется компонентами векторов калибров при нулевом тоннаже.

- [Удалить] - позволяет удалить определенные данные по износу и калибровке для конкретного стана. Можно также удалить всю информацию, касающуюся выбранного пользователем стана.

7.2.2. Подготовка данных для заполнения баз

Для корректного внесения в базу информации о конкретном стане, соответствующих калибровках и их параметрах соответствующие данные должны быть заранее подготовлены:

Для ввода данных о стане необходимо знать:

- название стана;
- количество рассматриваемых подгрупп;
- названия подгрупп и число клетей в каждой из них;
- расстояние от каждой клетки до предыдущей клетки (межклетевые расстояния) или от первой клетки до печи;
- тип расположения каждой клетки: горизонтальный- "Н" или вертикальный - "V";
- передаточные отношения главной линии каждой прокатной клетки;
- диаметры валков (максимальный и минимальный) и число возможных переточек на меньший диаметр.
- скорость начала прокатки для первой рассматриваемой клетки.

Для ввода данных по любой калибровке конкретного стана необходимо, знать:

- шифр калибровки (заводской номер, идентификатор и т.п.)
- прокатываемый конечный профиль;
- тип каждого калибра;
- необходимость кантовки раската перед калибром (если нет чередования клетей "Н"- "V");
- базовую температуру начала прокатки;
- базовый предел текучести ("сигма") для марки стали, под которую рассчитана калибровка, и базовые межвалковые зазоры в калибрах;
- базовые значения межвалковых зазоров в клетях (из стандартной таблицы калибровки);
- значения десяти компонентов векторов, характеризующих форму и размеры контура калибра и прокатываемого в нем сечения для базовых значений технологических параметров. Для того, чтобы получить значения компонентов векторов для каждого калибра необходимо на основании наиболее точных чертежей калибров с учетом базового зазора и кон-

тура сечения при нормальном заполнении калибра вычленив 1/4 симметричную часть (правый верхний квадрант в позиции горизонтального расположения калибра) и разбить эту часть из центра симметрии калибра лучами под углами от 90 до 0 градусов от горизонтали с шагом 10 градусов до пересечения с контуром калибра и контуром сечения в зоне разъема валков (аналогично рис.2.2).

Длины отрезков, в мм, от центра симметрии калибра до вышеназванных точек пересечения являются компонентами вектора измеряемого калибра, причем первым будет являться компонент, измеренный на направлении 90 гр. (вертикаль), а десятым - на направлении 0 гр. (горизонталь).

Для ввода данных по износу калибров с целью учета прокатываемого тоннажа необходимо знать:

- информацию о геометрии контуров калибров, подвергшихся износу;
- прокатанный тоннаж металла, который вызвал соответствующий износ.

Для учета контура изношенного калибра необходимо сформировать вектор износа, аналогично вектору калибра. При этом вектор износа состоит не из 10 компонент, а из 8, поскольку не описывает положение металла в разъеме между валками. Измерение компонентов вектора износа должно производиться аналогично вектору калибра, но учитываться при измерении должны точки пересечения с фактическим контуром калибра вследствие износа. Нанесение этого контура на исходный чертеж калибра осуществляется по данным измерения калибра, прошедшего определенный срок эксплуатации, выраженный в количестве тонн прокатанного в нем металла. Способы снятия информации о профиле износа могут быть различны, в частности, это может быть сделано на оптических устройствах в вальцетокарном отделении перед переточкой валка.

7.2.3. Работа с пунктом меню "Стан" (рис. 7.4-7.5)

После входа в данный режим появляется активное (синее) окно, позволяющее ввести информацию о названии стана, количестве рассматриваемых непрерывных подгрупп клетей, их названиях и количестве клетей в каждой из них. Максимально возможное количество подгрупп в одном стане - 5, клетей в подгруппе - 8. Ввод нового стана должен инициировать создание новой записи в базе, поэтому при нажатии стрелки курсора вниз в конце списка станом приводит к запросу типа "Добавить запись (j/n) ?". <Esc> - запоминает текущую информацию и переходит в основное меню режима данные.

Номер	Название стана	Число п/групп	Нач.клеть
1	320/150 БМК	3	8
2	250-2 ММК <Ч>	1	1
3	300-2 УМЗ <Ч>	1	8
4	SKET-ММК	4	1
5	300-1 ММК	1	1

Enter Коррект. ^PgUpНачало^PgDnКонец Tab Доп.данные DelУдалить Esc Выход

Рис. 7.4. Меню «Стан». Начальная информация

Номер	Название стана	Число п/групп	Нач.клеть
1	320/150 БМК	3	8
2	250-2 ММК <Ч>	1	1
3	300-2 УМЗ <Ч>	1	8
4	SKET-ММК	4	1
5	300-1 ММК	1	1

Стан	Название стана	П/группа	Клеть	D max	D min
1	320/150 БМК	1	8	480.0	435.0
1	320/150 БМК	1	9	480.0	435.0
1	320/150 БМК	1	10	480.0	435.0
1	320/150 БМК	1	11	480.0	435.0
1	320/150 БМК	2	12	380.0	340.0
1	320/150 БМК	2	13	380.0	340.0
1	320/150 БМК	2	14	380.0	340.0
1	320/150 БМК	2	15	380.0	340.0

Enter Коррект. ^PgUpНачало^PgDnКонец->↓←ПеремещениеDelУдалить Esc Выход

Рис. 7.5. Меню «Стан». Техническая информация

Клавиша <Tab> переводит это окно в пассивный режим (светло-серый цвет). Здесь осуществляется выбор стана для введения дополнительной информации и появляется второе активное окно для ввода технической информации по каждой из клеток стана (максимальный и минимальный диаметры валков, количество переточек, предел текучести "сигма" для конкретной стали, тип клетки "H" или "V", передаточные отношения главных приводов клеток.) <Esc> - запоминает текущую информацию и переходит в основное меню режима [ДАННЫЕ].

7.2.4. Работа с пунктом меню "Калибровка" (рис. 7.6-7.7)

После входа в данный режим появляется пассивное (серое) окно, позволяющее указать стан, информацию о калибровке которого собираются вводить в базу.

После этого появляется активное (синее) окно с шифрами имеющихся в базе калибровок данного стана. Новую калибровку можно ввести, добавив запись (аналогично п. 7.2.3.). Кроме шифра калибровки в этом окне вводится информация о том, какой профиль прокатывается, о базовой температуре и скорости начала прокатки, пределе текучести ста-

ли "сигма". Нажатие клавиши <Tab> переводит данное окно в пассивный режим (серое окно), при этом нажатием клавиши <Enter> можно выбрать калибровку для ввода информации о геометрических характеристиках (векторах) всех калибров.

Появляющееся в нижней части экрана активное (синее) окно позволяет наряду с компонентами $V_1 - V_{10}$ вектора ввести базовые зазоры в соответствующих клетях и указать наличие -1 или отсутствие -0 кантовки перед клетью.

Следует отметить, что в случае чередования клеток "Н"- "V" наличие и отсутствие кантовки проставляется в этом окне автоматически. При наличии двух и более клеток "Н" (горизонтальных) кантовка в виде "1" или "0" должна быть указана пользователем.

<Esc> сохраняет информацию введенную в окне и возвращает управление в основное меню режима [ДАнные].

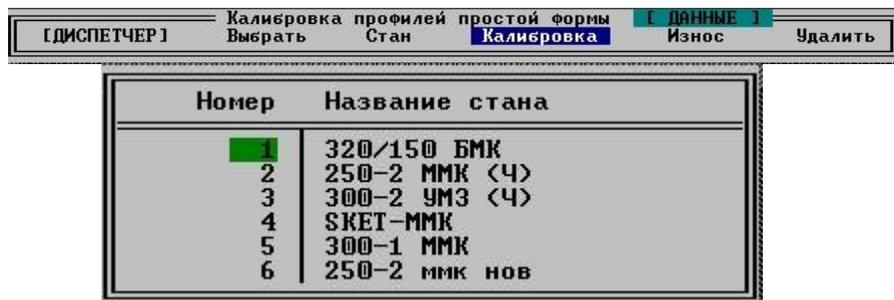


Рис. 7.6. Выбор стана

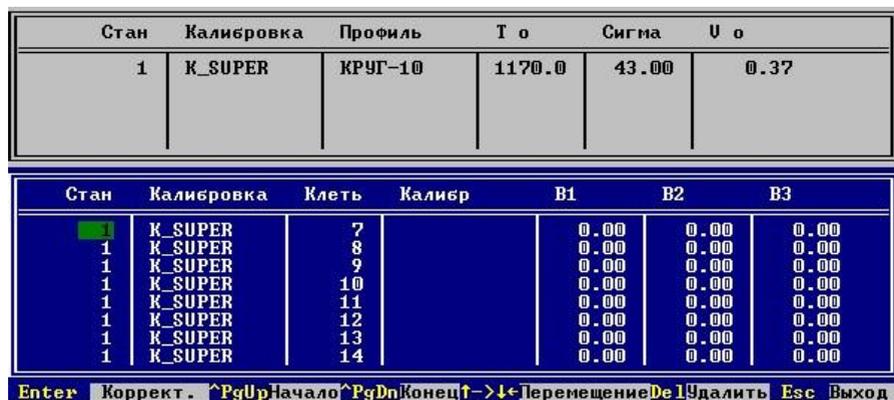


Рис. 7.7. Меню «Калибровка». Геометрические параметры

7.2.5. Работа с пунктом меню "Износ" (рис. 7.8-7.9)

После входа в данный режим появляется пассивное (серое) окно позволяющее указать стан, информацию о калибровке которого собираются вводить в базу.

После этого появляется пассивное (серое) окно с шифрами имеющихся в базе калибровок данного стана, при этом нажатием клавиши <Enter> можно выбрать калибровку для ввода информации о геометрических характеристиках (векторах) износа калибров.

[ДИСПЕТЧЕР]		Калибровка	профилей	простой формы	ДАННЫЕ 1	Удалить
	Выбрать	Стан	Калибровка	Износ		
Номер	Название стана					
1	320/150 БМК					
2	250-2 ММК <Ч>					
3	300-2 УМЗ <Ч>					
4	SKET-ММК					
5	300-1 ММК					
6	250-2 мнк нов					

Рис. 7.8. Выбор стана для задачи износа калибров

Стан	Калибровка	Профиль	Т о	Сигма	У о
1	K_SUPER	КРУГ-10	1170.0	43.00	0.37

Стан	Калибровка	Клеть	Калибр	Тоннаж	V1	V2
1	K_SUPER	8	ОВАЛ	0	27.50	27.90
1	K_SUPER	9	КРУГ	0	29.00	29.28
1	K_SUPER	10	ОВАЛ	0	18.00	18.42
1	K_SUPER	11	Р. ОВАЛ	0	27.00	26.76
1	K_SUPER	12	ОВАЛ	0	14.00	14.20
1	K_SUPER	13	Р. ОВАЛ	0	21.50	21.24
1	K_SUPER	14	ОВАЛ	0	10.50	10.66
1	K_SUPER	15	Р. ОВАЛ	0	17.00	16.80

Enter Коррект. ^PgUpНачало ^PgDnКонец →↓← перемещение Del Удалить Esc Выход

Рис. 7.9. Формат базы корректировки износа

Появляющееся в нижней части экрана активное (синее) окно позволяет ввести компоненты V_1' - V_8' вектора, характеризующего профиль износа калибра, и тоннаж прокатанного металла, соответствующий этому износу.

По умолчанию, компоненты векторов износа равны соответствующим компонентам базовых векторов калибров (без износа), а тоннаж равен 0.

<Esc> сохраняет информацию, введенную в окне, и возвращает управление в основное меню режима [ДАННЫЕ].

7.2.6. Работа с пунктом меню «Удалить» (рис. 7.10 – 7.11)

Данный режим предназначен для удаления из баз данных устаревшей, ненужной или некорректной информации.

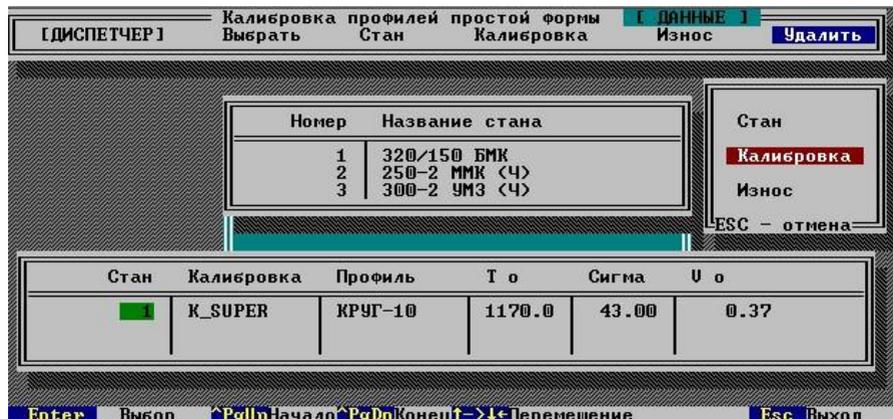


Рис. 7.10. Выбор калибровки для изменения параметров

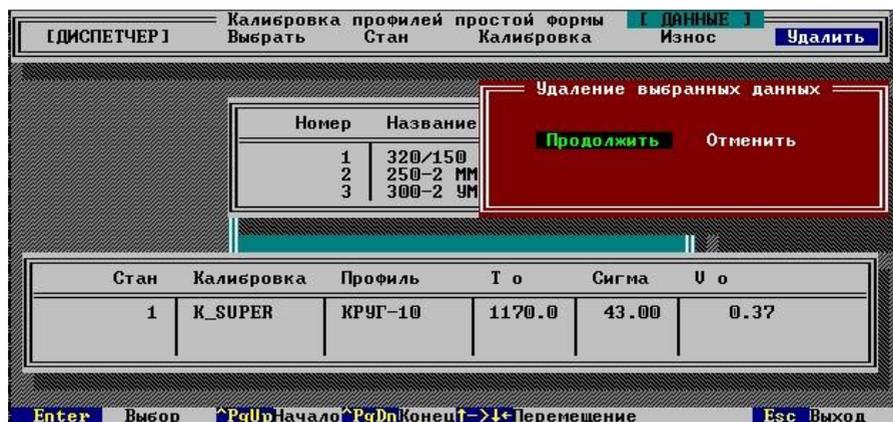


Рис. 7.11. Выбор калибровки для удаления данных

При выборе режима "Удалить" происходит выбор запроса на удаление:

- стана (при этом из баз данных удаляется вся информация о выбранном стане, его калибровках и износе калибров);
- калибровки (удаляется вся информация об одной выбранной калибровке какого-либо стана, включая информацию по износу);
- износа (удаляется информация о износе для конкретной калибровки);

Выбор калибровки и стана осуществляется в пассивных окнах, а страховочный запрос на удаление или отмену удаления повторяется в виде красного окна в правой части экрана.

7.3. Система настройки стана

7.3.1. Описание системы настройки

Данный режим позволяет моделировать настройку и после ввода изменений технологических параметров выработать режим настройки за время, соизмеримое со временем протекания технологического процесса.

Другими словами, система настройки позволяет быстро и надежно проектировать настройку стана с учетом влияния технологических факторов (износ, диаметр валков, температура нагрева заготовок, прочность стали), графически представлять процесс формоизменения в клетях, рассчитывать скоростной и температурный режимы.

Для условно «слабых» ПЭВМ типа IBM 386 40 МГц с математическим сопроцессором 387 и IBM 486 моделирование настройки протекает за 3-18 секунд.

Результатами работы системы настройки являются рекомендации по установке зазоров между валками, выбору скорости прокатки и окружных скоростей двигателей главных приводов клеток с целью обеспечения прокатки без натяжения; информация по температурному режиму.

Таким образом, программные средства обеспечивают:

- надежную работу прикладной программы, устойчивость ее от преждевременного выхода (сбоя);
- высокое быстродействие вследствие использования эффективного алгоритма вычисления требуемых параметров;
- удобную форму вывода результатов.

7.3.2. Пользовательский интерфейс

Для облегчения и увеличения эффективности работы пользователя с прикладной программой последняя снабжена дружественным интерфейсом (режим меню), который позволяет легко ориентироваться при работе.

Программа снабжена основным меню, которое включает в себя следующие пункты (рис. 7.12):

- выбор группы клетей стана;
- изменение технологических параметров;
- настройка непрерывной группы стана;
- расчет уширения для следующей группы;
- просмотр результатов настройки группы;
- просмотр графического моделирования;
- реостарт;
- выход из программы.



Рис. 7.12 Основное меню прикладной программы

Рассмотрим функционирование каждого пункта основного меню.

1. Выбор группы клетей стана.

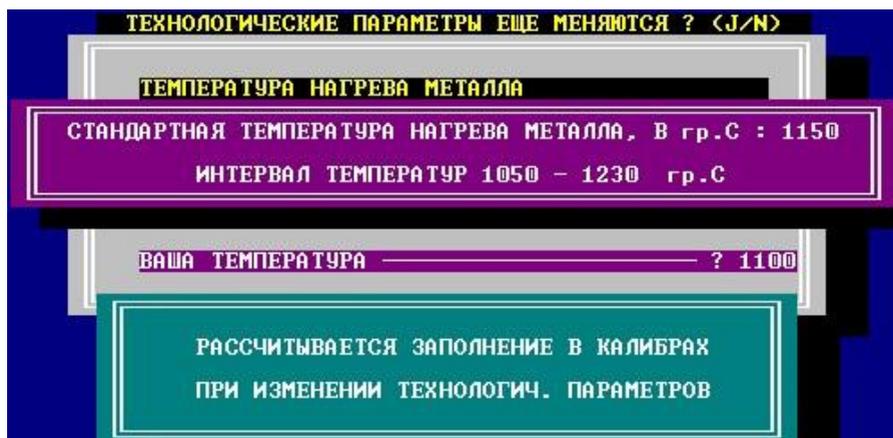
Этот пункт осуществляет через свое меню выбор одной из подгрупп клетей, для которой в дальнейшем будет производиться моделирование прокатки и настройки. После намеченного этапа работы программы существует возможность выбора любой другой подгруппы клетей данного стана.

2. Изменение технологических параметров прокатки (рис.7.13.-7.16).

Это одна из ключевых частей системы, где пользователь может варьировать параметры процесса прокатки: количество уже прокатанных тонн металла, температуру прокатки, прочность прокатываемой стали, число переточек валков. Выбор каждого параметра осуществляется из соответствующего меню. Причем ввод количества прокатанных тонн металла может быть произведен как отдельно по клетям, так и для подгруппы в целом. Ввод температуры прокатки и прочности стали целесообразно производить в случае отклонения последних от заранее заданных.



Рис. 7.13. Меню выбора варьируемых технологических параметров



7.14. Формат меню изменения температуры раската

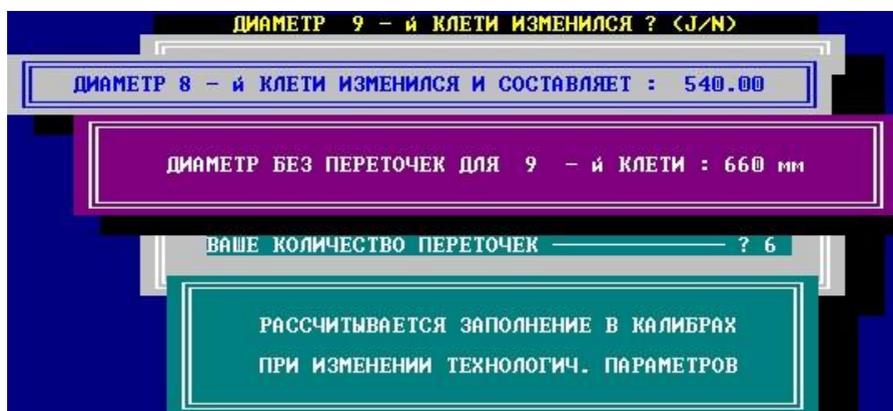


Рис. 7.15. Формат меню изменения диаметра рабочих валков

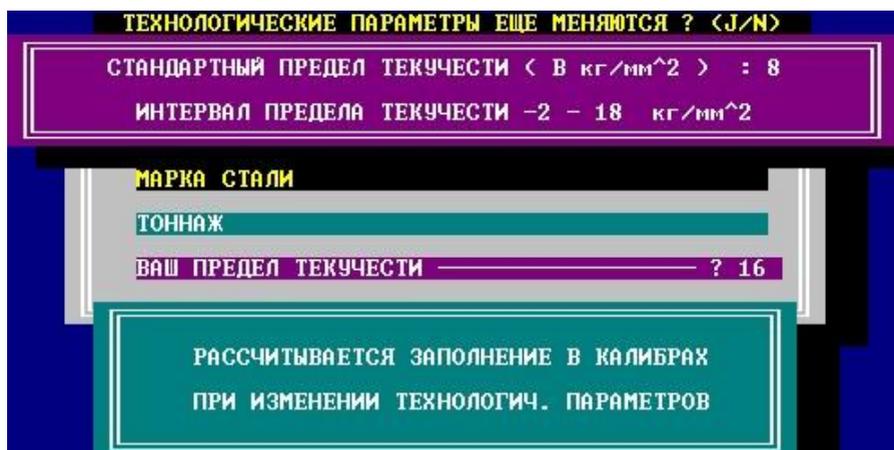


Рис. 7.16. Формат меню изменения марки стали

3. Настройка непрерывной группы стана (рис. 7.17)

Это главный пункт системы настройки, где осуществляется математическое моделирование настройки по условию получения раската в последней клетке данной подгруппы в установленном допуске.

Перед настройкой осуществляется запрос на отключение отдельных клеток из процесса регулирования зазоров, что позволяет исследователю осуществлять многовариантный расчет режимов настройки (со всеми клетями, через одну клетю и т.п.) в рамках методики, описанной в разделе 5.

43 - ая ИТЕРАЦИЯ ВНИМАНИЕ !!! НАСТРОЙКА ЗАКОНЧЕНА !!! 843

НАЧАЛЬНЫЕ ЗАЗОРЫ ПО КЛЕТЯМ в мм :						
8 кл	9 кл	10 кл	11 кл	12 кл	13 кл	
5.50	6.90	26.10	5.50	28.00	13.70	

ТЕКУЩИЕ ЗАЗОРЫ ПО КЛЕТЯМ в мм :						
8 кл	9 кл	10 кл	11 кл	12 кл	13 кл	
1.70	3.10	22.30	3.10	24.10	13.70	

ХОД НАЖИМНОГО ВИНТА в мм :						
8 кл	9 кл	10 кл	11 кл	12 кл	13 кл	
-3.80	-3.80	-3.80	-2.40	-3.90	0.00	

ОТКЛОНЕНИЕ ОТ НОРМАЛЬНОГО ЗАПОЛНЕНИЯ в % :						
8 кл	9 кл	10 кл	11 кл	12 кл	13 кл	
44.33	34.75	84.64	25.03	83.13	1.50	

СКОРОСТИ ДВИГ. :	
8 кл	269.7
9 кл	283.9
10 кл	180.0
11 кл	243.6
12 кл	156.7
13 кл	260.9

ТЕМПЕРАТУРЫ :	
8 кл	923.6
9 кл	895.1
10 кл	860.7
11 кл	842.1
12 кл	820.8
13 кл	810.4

Press space bar to continue.

Рис.7.17. Итоговая таблица расчета параметров настройки

4. Расчет уширения в следующей группе.

В данном пункте производится прогнозирование заполнения калибров в последней подгруппе клетей.

5. Просмотр результатов настройки группы (рис. 7.18).

Здесь происходит вывод рекомендуемых параметров настройки (зазоры, скорости), значений существующих в данный момент зазоров и температуры раската перед клетями на экран. Вывод осуществляется по подгруппам для всего стана.

После экранного вывода результатов производится запрос на вывод исходных параметров и результатов настройки в текстовый файл. Если запрос удовлетворен, пользователь указывает имя файла, который формируется в подкаталоге \REPORT\. Накопленные таким образом в процессе работы файлы могут быть использованы по завершении расчетов с целью анализа результатов уже после полного завершения работы системы настройки и диспетчера задач.

6. Просмотр графического моделирования.

На экран выводится текущее состояние металла в калибре:

- геометрия раската на входе и выходе металла из валков;
- информация о текущей вытяжке;
- информация о заполнении калибра.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАСТРОЙКИ И ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОКАТКИ ДЛЯ КЛЕТЕЙ 1 – й ПОДГРУППЫ СТАНА						
ПАРАМЕТРЫ	8	9	10	11	12	13
Начальные зазоры, мм	5.50	6.90	26.10	5.50	28.00	13.70
Рекомендуемые зазоры, мм	5.50	6.90	26.10	5.50	28.00	13.70
Ход нажимного винта, мм	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Рекомендуемые скорости двигателей, об/м	220.04	258.71	220.63	216.19	206.91	221.53
Скорость прокатки, м/с	0.25	0.37	0.46	0.56	0.80	1.02
Температура перед клетью	951.75	913.84	881.00	854.35	835.01	819.34

Press space bar to continue.

Рис. 7.18. Результирующая таблица для пользователя

Режим просмотра служит для визуализации процесса получения профиля с целью лучшего восприятия пользователем цифровой технологической информации.

7. Реостарт.

Возврат к первоначальному состоянию стана и процесса прокатки. Рекомендуется при переходе к моделированию новой ситуации настройки при неизменных исходных данных. Рекомендуется также для возврата к исходным данным при грубых ошибках пользователя.

8. Выход из программы.

Завершает задачу настройки и передает управление диспетчеру задач.

Все пункты основного меню осуществляются автоматически без предварительных и последующих команд. В особо ответственных местах предусмотрено дублирование ввода информации в виде запросов типа (Y/N о достоверности введенных данных. После выполнения любого пункта основного меню, кроме п.8, происходит возвращение в основное меню.

7.3.3. Возможная последовательность и режимы работы

1. Для начала работы необходимо выбрать подгруппу клеток, с которой желает работать пользователь (п.1 основного меню).

2. После этого можно просмотреть результаты графического моделирования для выбранной подгруппы (п.6. основного меню).

3. В зависимости от того, какие изменения произошли в процессе прокатки или в состоянии стана, необходимо воспользоваться п.3. основного меню и ввести изменения.

4. При желании пользователь может просмотреть графическое моделирование внесенных им изменений в процесс прокатки (п.6 основного меню).

5. При необходимости, если изменения в параметрах прокатки привели к недопустимым отклонениям профиля, выходящего из рассматриваемой подгруппы, следует произвести настройку подгруппы (п.3. основного меню). После выполнения этого пункта также можно произвести просмотр результатов графического моделирования.

6. Если пользователь работал не с последней подгруппой стана, то целесообразно обратиться к п.4. основного меню, а затем просмотреть результаты графического моделирования для последующей подгруппы (п.6 основного меню). В случае необходимости произвести настройку новой подгруппы (п.3. основного меню). Причем, если пользователь входит в п.3. основного меню, но геометрия профиля в последней клетки подгруппы находится в пределах допуска, то автоматически осуществляется вывод результатов настройки на экран (п.5 основного меню).

7. Далее целесообразно ознакомиться с результатами работы программы и рекомендуемыми параметрами настройки (п. 5 основного ме-

ню) и, при необходимости, сохранить информацию в файле (подкаталог \REPORT).

8. В зависимости от желания, пользователь может войти в первоначальное состояние параметров процесса (п.7. основного меню) или выйти из программы настройки в диспетчер задач (п.8. основного меню).

ЗАМЕЧАНИЕ: Эксплуатация представленных программных средств может быть многовариантной и зависит от:

- характера решаемой задачи;
- цели расчетов режимов настройки;
- конфигурации конкретного стана, особенностей его параметров и калибровки.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные подходы к проблеме управления настройкой сортопрокатных станов.
2. Приведите принципы построения адаптивных математических моделей.
3. Перечислите допущения, принятые в рассматриваемой модели настройки.
4. В чём заключается цифровое (матричное) представление калибра и прокатываемого профиля?
5. Как учитывается наличие кантовки раската относительно клетей стана?
6. Перечислите основные технологические факторы, влияющие на вытяжку и уширение металла в клетки.
7. В чём суть алгоритма настройки клетей стана?
8. Перечислите режимы применения модели настройки на производстве.
9. Что такое минимальное натяжение?
10. Объясните принцип связи изменения зазора между валками с системой регулирования минимальных натяжений.
11. От чего зависит значение критерия приоритетности участия клетки в настройке стана $K_{\text{приор}}$?
12. Что такое равноосное и неравноосное сечение?
13. Все ли клетки рассматриваемой подгруппы должны участвовать в настройке стана?
14. Назовите степень влияния на настройку стана равноосных и неравноосных калибров.
15. Какие данные содержатся в базе, характеризующей тот или иной стан, внесённый в программу «SORT»?
16. Можно ли пополнять существующую базу данных программы «SORT»?
17. Перечислите возможные варианты работы программы «SORT», содержащиеся в основном меню.
18. Что является итогом работы программы «SORT»?
19. Какой шаг настройки межвалкового зазора применяется на сортопрокатных станах и в программе «SORT»?
20. Что произойдет с прокатываемым профилем, если допустить работу стана с наличием межклетевого натяжения?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тулулов С.А. Матричный способ представления процесса формоизменения металла при прокатке в калибрах простой формы. Сообщение 1 // Известия вузов. Черная металлургия. 1989. № 12. С. 63-65.
2. Тулулов О.Н. Структурно-матричные модели для повышения эффективности процессов сортов прокатки: Монография. Магнитогорск: МГТУ, 2002. 224 с.
3. Адаптивное управление точностью прокатки труб / Данилов Ф. А., Имедадзе В. В., Клемперт Е.Д. и др. М.: Металлургия, 1980. 280 с.
4. Эффективность деформации сортовых профилей / Тулулов С. А., Гун Г. С., Онискив В. Д. и др. М.: Металлургия, 1990. 280с.
5. Концепция построения современных моделей прокатки на сортовых станах / А.Б. Моллер, О.Н. Тулулов, А.С. Лимарев, Д.В. Назаров // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2007. №1. С. 64-67
6. Москалев А.Н., Ветров В.Г., Зелинский В.Ф. Повышение эффективности производства и эксплуатации прокатных валков. - М.: Металлургия, 1983. 65 с.
7. Тулулов О.Н., Моллер А.Б., Зайцев А.А. Настройка непрерывных групп сортовых станов. Пакет программ. Информационные ресурсы высшей школы: Автоматизированный кадастр IR-1998-1827. 28.04.1998 г.
8. Свидетельство РФ № 2006620136 от 17.05.2006 на регистрацию базы данных технологических параметров сортовых станов. / О.Н.Тулулов, А.Б.Моллер, С.А.Левандовский и др.

Учебное текстовое электронное издание

Моллер Александр Борисович

**НАСТРОЙКА КЛЕТЕЙ
СОРТОПРОКАТНЫХ СТАНОВ
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОФИЛЕЙ ПРОСТОЙ ФОРМЫ**

Учебное пособие

1,48 Мб

1 электрон. опт. диск

г. Магнитогорск, 2015 год

ФГБОУ ВПО «МГТУ»

Адрес: 455000, Россия, Челябинская область, г. Магнитогорск,

пр. Ленина 38

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»

Кафедра обработки металлов давлением

Центр электронных образовательных ресурсов и

дистанционных образовательных технологий

e-mail: ceor_dot@mail.ru