

К 1145431



«МЕТАЛЛУРГИЯ»

Автоматизация основных металлургических процессов



SIEMENS

Автоматизация ОСНОВНЫХ металлургических процессов

Ю.В. Липухин, Ю.И. Булатов
Г. Бок, М. Кнорр

к1145431



Москва "Металлургия" 1990

ВОЛОГОДСКАЯ
областная библиотека
им. И. В. Бабушкина

34.3
A22

+кр.

УДК 669.1-52

УДК 669.1-52

Автоматизация основных металлургических процессов. Липухин Ю.В., Булатов Ю.И., Бок Г., Кнорр М. М.: Металлургия, 1990. 280 с.

В издании, подготовленном совместно специалистами СССР и ФРГ, рассмотрены автоматизированные системы управления крупномасштабным металлургическим комплексом Череповецкого металлургического комбината, состоящим из крупнейшей в мире доменной печи объемом 5580 м³, трех крупнейших в Европе конвертеров вместимостью 400 т, высокопроизводительного широкополосного стана 2000 горячей прокатки.

Для научных работников и специалистов в области металлургической промышленности. Ил. 106. Табл. 13. Библиогр. список: 17 назв.

Издание параллельно выпускается по заказу
фирмы "Сименс" на английском языке

A $\frac{2601000000-140}{040(01)-90}$ 1-89

ISBN 5-229-00359-6
ISBN 3-8009-1552-9

© Издательство "Металлургия", 1990
© СИМЕНС АГ, Берлин/Мюнхен, 1990

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие от Министерства металлургии СССР	4
Предисловие от фирмы "Сименс"	5
1 Металлургический комбинат и проблемы управления производством	7
1.1 Структура основного металлургического производства	7
1.2 Задачи автоматизации управления металлургическим комплексом	16
2 Доменная печь № 5.	34
2.1 Оборудование и технологические процессы выплавки чугуна	34
2.2 Автоматический контроль и управление доменным процессом.	45
2.3 Автоматический контроль и управление газораспределением	70
3 Автоматизированная система динамического управления конвертерной плавкой	92
3.1 Оборудование и основные технологические процессы выплавки конвертерной стали	92
3.2 Автоматизированные системы управления технологическими процессами	125
3.3 Динамическое управление конвертерной плавкой	143
4 Широкополосные стан 2000 горячей прокатки	161
4.1 Оборудование нагревательных печей и технологические процессы.	161
4.2 Автоматизация нагревательных печей	165
4.3 Оборудование черновой и чистовой групп клетей стана и технологические процессы.	175
4.4 Автоматизация процессов прокатки полос. Слежение и информационное сопровождение проката в линии стана	189
5. Автоматизированное управление производственными процессами	225
5.1 Задачи и организация управления производством.	225
5.2 Структура и функции системы управления производством	242
5.3 АСУ железнодорожным транспортом	253
6. Эффективность автоматизации металлургического комплекса	264
7 Продолжение сотрудничества	269
Библиографический список	278

ПРЕДИСЛОВИЕ ОТ МИНИСТЕРСТВА МЕТАЛЛУРГИИ СССР

Уникальная доменная печь объемом 5580 м³, современные конвертерный цех и широкополосный стан 2000 горячей прокатки на Череповецком металлургическом комбинате образовали крупнейший в мире металлургический комплекс, обеспечивающий производство более 6 млн.т проката в год.

Высокие требования, предъявляемые к качеству готовой продукции и другим технико-экономическим показателям, обусловили задачу автоматизации технологических и производственных процессов. Решение этой задачи выполнено на базе современного механического и электрического оборудования, изготовленного в СССР, передовой технологии и авангардных разработок фирмы "Сименс" (ФРГ) в области автоматизации металлургических процессов.

В книге, подготовленной специалистами Череповецкого металлургического комбината и фирмы "Сименс" — генерального поставщика средств автоматизации, изложен совместный опыт проектирования, монтажа и наладки автоматизированных систем управления мощными металлургическими агрегатами. При этом представлены фактические материалы, полученные при реализации технических решений.

Тесное взаимодействие специалистов комбината и фирмы "Сименс" на всех стадиях разработки и внедрения, предварительная отладка оборудования, своевременная подготовка персонала и квалифицированное обслуживание обеспечили в сжатые сроки ввод в действие средств автоматизации.

Работа представляет интерес для инженерно-технических и научных работников, специализирующихся в области автоматизации металлургических и производственных процессов.

Представленный коллективный труд является примером плодотворного научно-технического сотрудничества специалистов двух стран — СССР и ФРГ, объединивших свои усилия на решение важной технической проблемы.

А.Н.Иводитов,
заместитель министра
металлургии СССР

ПРЕДИСЛОВИЕ ОТ ФИРМЫ "СИМЕНС"

В данной книге приводятся описания трех крупных проектов автоматизации технологических процессов на Череповецком металлургическом комбинате, реализованных в результате сотрудничества советских предприятий и фирмы "Сименс АГ." Техническое и организационное руководство осуществлялось советскими специалистами. Изготовление механического и электротехнического оборудования металлургических агрегатов выполнено на предприятиях СССР. Фирма "Сименс" выступила разработчиком и генеральным поставщиком технических средств автоматизации и координировала деятельность привлекаемых западногерманских фирм. При работе по всем трем проектам такое разделение труда оказалось весьма плодотворным.

Ввод в действие проектных систем автоматизации сопровождался выполнением и перевыполнением установленных в контрактах гарантий параметров качества и количества выпускаемой металлургической продукции. Подобные результаты стали возможными благодаря тесному сотрудничеству специалистов фирмы "Сименс" и производственных подразделений комбината на всех этапах выполнения проектов. Фирма "Сименс" выражает благодарность советским специалистам за успешное сотрудничество.

Авторская группа использовала советскую и западногерманскую техническую документацию и обобщила опыт совместной работы.

Книга выпущена издательством "Металлургия" на русском языке и издательством "Сименс АГ", Берлин/Мюнхен — на английском языке.

Плодотворность технического сотрудничества способствовала успешной работе и в сфере книгоиздания: перевод на английский язык, технические вопросы издания и выпуска книги решены издательством "Металлургия".

Мы желаем заслуженного успеха обоим изданиям на русском и английском языках.

Е.Килл,
президент группы промышленных
и строительных систем Сименс АГ

1 МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ И ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

Создание крупных металлургических агрегатов и их комплексов позволяет более эффективно использовать сырье, топливо, капиталовложения, открывает широкие возможности для достижения высоких технико-экономических показателей при значительном снижении численности обслуживающего персонала.

Управление интенсифицированными технологическими процессами крупных металлургических агрегатов представляет сложную задачу, решение которой возможно с помощью применения современных методов и средств управления, достигнутых мировой техникой.

Особый интерес в этом плане представляет опыт сотрудничества с фирмой "Сименс" (ФРГ) по внедрению автоматизированных систем управления крупномасштабным металлургическим комплексом Череповецкого металлургического комбината, состоящим из крупнейшей в мире доменной печи объемом 5580 м³, трех крупнейших в Европе конвертеров емкостью 400 т с пятью машинами непрерывной разливки стали, высокопроизводительного широкополосного стана 2000 горячей прокатки.

1.1 СТРУКТУРА ОСНОВНОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Череповецкий металлургический комбинат относится к числу крупнейших современных предприятий черной металлургии СССР. Доля выпускаемой продукции в общем объеме металлургического производства СССР составляет: по чугуну более 6 %, стали — 7 %, прокату — 10 %, по объему реализации — второе место в отрасли.

Высококачественные железорудные концентраты и окатыши поставляются на комбинат с горнообогатительных предприятий Кольского полуострова, каменный уголь — с Печорского и Кузнецкого угольных бассейнов. Сырье доставляется железнодорожным транспортом и водным — по Волго-Балтийскому каналу.

Продукция комбината — кокс, химические продукты, широкий марочный сортамент холоднокатаных, горячекатаных листов и рулонов, сортового проката, гнутых профилей — по качеству находится на уровне лучших мировых стандартов и используется в машиностроении, строительстве, авто- и судостроении, электро-технической промышленности и многих других отраслях экономики. Продукция комбината экспортируется в 52 страны, объем экспортной продукции составляет 12,5 % от общего объема производства.

За большой вклад в развитие международного сотрудничества в 1980 г. комбинат был награжден Международной премией "Золотой Меркурий".

Непрерывный рост объема производства — характерная черта развития комбината, обусловленная новым строительством и реконструкцией действующих агрегатов, внедрением мероприятий научно-технического прогресса, повышением качества выпускаемой продукции, повышением уровня всей экономической деятельности. О темпах роста производства по годам можно судить по приведенным показателям:

Годы.	1965	1970	1975	1980	1985	1986	1987	1988	1989
Производ- ство, тыс.т:									
чугуна . .	3015	4762	5076	5214	6203	8267	9424	9550	9660
стали . .	4249	5537	6596	6794	9252	10499	11510	11826	12064
проката .	3450	4335	6024	8994	10959	11478	11549	11500	11590

Развитие комбината продолжается и в настоящее время. Осваиваются новые мощности по производству агломерата, конвертерной стали и проката. Доля мартеновской стали снижена с 88 до 64 %; разливка стали непрерывным способом значительно увеличена и составляет 33 % от общего количества разливаемой стали; доля листового проката возросла с 68 до 74 %. Увеличено производство эффективных видов проката.

Комбинат отличается широким использованием современных достижений науки, техники и технологии; высокой степенью механизации и автоматизации технологических и производственных процессов. Он является своеобразным учебным центром по подготовке специалистов для черной металлургии — "Университетом технического прогресса" в СССР.

Состав основных производств

Агломерационное производство. В состав агломерационного производства входят 3 цеха с 9-ю агломашинами площадью спекания 84 м² и 2-мя агломашинами площадью спекания 312 м².

Коксохимическое производство. Коксохимическое производство включает в себя: углеобогатительный цех с двумя углефабриками; углеподготовительный цех с двумя углеподготовками; два коксовых цеха с 6-ю и 4-мя коксовыми батареями, производящие 6,2 млн.т кокса в год; два цеха улавливания химических продуктов коксования; смолоперегонный цех; цех ректификации сырого бензола; пекококсовый цех.

Тушение кокса (включая пековый кокс) производится сухим способом. Череповецкий кокс характеризуется высокой прочностью, низким содержанием золы и вредных примесей.

Доменный цех. В состав доменного цеха входят: 5 доменных печей; 5 разливочных машин; отделения грануляции шлака, получения шлаковой пемзы, выбивки и переработки ковшевых остатков. Объемы доменных печей: № 1 — 1007 м³; № 2 — 1033 м³; № 3 — 2000 м³, № 4 — 2700 м³; № 5 — 5580 м³. Печи работают на офлюсованном агломерате и высококачественных окатышах, имеющих низкое содержание вредных примесей, содержание кислорода в дутье — 33 — 35 %, расход природного газа — 140 — 150 м³/т чугуна.

Техническое перевооружение доменных печей и высокий уровень технологической дисциплины позволили достигнуть наилучших показателей доменной плавки в отрасли. Благодаря стабильному химическому составу, незначительному содержанию вредных примесей выплавляемый чугун получил высокую оценку на мировом рынке.

Сталеплавильное производство. Сталеплавильное производство включает в себя основные цехи: мартеновский, электросталеплавильный и конвертерный. Сортамент выплавляемой стали, %: электротехническая — 3,9; качественная конструкционная — 22,9; рядовая — 53,7; низколегированная — 10,8; легированная — 7,0; нержавеющая — 1,7.

Мартеновский цех представляет собой комплекс из 9 мартеновских печей вместимостью 300 и 600 т и двух двухваннных сталеплавильных агрегатов (вместительность каждой из ванн 250 т). Управление двухванными агрегатами осуществляется с помощью

АСУТП. Корректировка химического состава и температуры, продувка металла аргоном проводятся на установке доводки металла в ковше.

В составе электросталеплавильного цеха четыре 100-т печи и две машины непрерывного литья заготовок вертикального типа. Сортамент выплавляемой стали: качественная конструкционная, низколегированная и легированная, электротехническая, нержавеющая, рядовая.

Впервые в отрасли освоена технология выплавки нержавеющей стали в большегрузных электродуговых печах с разливкой на МНЛЗ в слитки сверху. Разработана и внедрена перспективная технология производства особонизкоуглеродистой и впервые в стране — обычной, стабилизированной титаном, коррозионностойкой стали с применением вакуум-кислородного рафинирования. Достоинством этой технологии является резкое повышение производительности электропечи, снижение расхода рафинированных сортов феррохрома, улучшение качества и получение металла практически с любым содержанием углерода. Освоена технология выплавки подшипниковой стали некоторых марок с разливкой ее сверху в слитки массой 8,35 т и производства из нее проката.

В состав конвертерного цеха входят три 400-т конвертера и пять двухручьевых машин непрерывного литья заготовок криволинейного типа. В конвертерах выплавляется более 70 марок сталей различного назначения с использованием низкомарганцовистого чугуна, который доставляется в цех передвижными миксерами грузоподъемностью 600 т.

Прокатное производство. Череповецкий металлургический комбинат располагает мощными автоматизированными прокатными станами и современным оборудованием для термической обработки и отделки проката. Широкий сортамент и высокое качество поставляемого металла удовлетворяют самым жестким требованиям отечественных и зарубежных заказчиков. Прокатное производство включает в себя следующие цехи: обжимной, два листопрокатных горячей прокатки, холодной прокатки с отделением динамной стали, сортопрокатный и гнутых профилей.

В состав обжимного цеха входят: участок нагревательных колодцев с 27 группами в двух параллельных пролетах с кольцевой подачей слитков; стан 1300 — реверсивный слэббинг-блюминг; машина огневой зачистки; непрерывно-заготовочный стан с кле-

тями А и Б диаметром 1000 мм и двумя группами клеток 730/530; адьюстаж. Сортамент продукции: блюмы 380 X 410 мм, слябы $(140 \div 250) \times (1000 \div 1450)$ мм, заготовка квадратная 60 — 150 мм.

Листопрокатный цех № 1 состоит из: четырех нагревательных печей; комбинированного полунепрерывного стана 2800/1700; термического отделения с двумя роликовыми (одна из них с закалочной машиной) и девятью колпаковыми печами; агрегата поперечной резки листа. Сортамент продукции: стан 2800 — горячекатаный лист толщиной 8 — 50 и шириной 1000 — 2530 мм; стан 1700 — полосы толщиной 2 — 6 и шириной 1000 — 1500 мм со смоткой в рулоны.

Стан 2800 оснащен установкой ускоренного охлаждения листа в потоке, оборудованием отделки и ультразвукового контроля толстых листов. Для повышения механических свойств металла его подвергают нормализации, отжигу или закалке с последующим отпускком.

В составе листопрокатного цеха № 2: четыре нагревательные печи с шагающими балками для нагрева катаных и литых слябов массой до 36 т; широкополосный стан 2000 горячей прокатки; отделение листоотделки с агрегатами продольной и тремя агрегатами поперечной резки.

Стан 2000 — крупнейший в СССР, его мощность составляет более 6 млн.т проката в год. Слябы прокатываются на полосы толщиной 1,2 — 12 и шириной до 1850 мм. Комплексная система автоматического регулирования и управления технологическими процессами (нагрев, прокатка, охлаждение и смотка металла) обеспечивает выпуск продукции высокого качества.

В результате применения системы межклетевого охлаждения полосы скоростные возможности механического и электрического оборудования увеличены на 10 — 15 %. Освоена технология прокатки горячекатаных полос, обеспечивающая повышение прочностных свойств стали без снижения пластичности, благодаря чему производится листовая сталь с гарантированной повышенной прочностью при меньшей толщине.

Высокая точность размеров горячекатаных полос позволяет производить лист в поле минусовых допусков, тем самым поставка листовой продукции потребителю увеличивается на 6 — 7 % без изменения массы. Горячекатаный лист широко используется: для изготовления трубопроводов; сосудов, работающих под давлением; в судостроении; для изготовления гнутых профилей.

Цех холодной прокатки включает в себя: два непрерывно-травильных агрегата; четырехклетевой стан 1700 холодной прокатки; три агрегата продольной резки; три агрегата поперечной резки; агрегат комбинированной резки; термическое отделение с колпаковыми печами; одноклетевой дрессировочный стан 1700; агрегаты непрерывного горячего цинкования и алюминирования; агрегат нормализации; отделение динамной стали. Сортамент продукции: холоднокатаный лист толщиной 0,5 – 2,0 и шириной до 1420 мм, в том числе автолист, металл для офсетной печати, горячекатаный лист, оцинкованный лист, изотропная динамная сталь с электроизоляционным покрытием.

В состав сортопрокатного цеха входят: среднесортный стан 350, мелкосортный стан 250 с установкой термоупрочнения проката в потоке, проволочные станы 280 и 150. Стан 280 оборудован установкой ускоренного охлаждения катанки, на стане 150 используются чистовые блоки, работающие на твердосплавных шайбах, и система двухстадийного охлаждения катанки. Стан производит сорбитизированную катанку высокой точности с незначительным количеством окалины. Сортамент продукции: круглая, шестигранная, полосовая и угловая сталь, периодический профиль в бунтах и мотках с пределом текучести до 1000 МН/мм², канатная катанка, катанка для металлокорда. Высокое качество продукции обеспечивается подготовкой заготовок к прокатке, использованием предварительно напряженных клетей, ускоренным охлаждением проката.

Цех гнутых профилей имеет в своем составе современные высокопроизводительные станы $(1 \div 4) \times (50 \div 300)$, $(2 \div 8) \times (100 \div 600)$ и $(0,6 \div 3) \times (300 \div 400)$, с помощью которых выпускается свыше 220 типов холодногнутых профилей из углеродистых и низколегированных сталей, в том числе перфорированных. В потоке стана $(2 \div 8) \times (100 \div 600)$ установлен сварочный агрегат, позволяющий производить замкнутые сварные профили квадратного и прямоугольного сечений.

Энергоснабжение

Электроснабжение комбината осуществляется двумя собственными тепловыми электростанциями (ТЭЦ) и энергосистемой страны.

На комбинате широко используются вторичные энергоресурсы. На ТЭЦ утилизируются в качестве вторичного топлива отходы угле-

обогащительных фабрик, коксовый и доменный газы. Пар для нужд производства вырабатывается на тепловых электростанциях, в системах испарительного охлаждения печей, котлов-утилизаторов и установок сухого тушения кокса (УСТК). Эффективность последних доказана череповецким опытом. На комбинате впервые были освоены вначале опытная, а затем и промышленные УСТК, позволяющие улучшать качество кокса и покрывать потребность в паре на одну треть. Пар УСТК применяется также для выработки электроэнергии.

В результате творческого содружества энергетиков и доменщиков успешно освоены первые образцы газовых утилизационных бескомпрессорных турбоагрегатов (ГУБТ), в которых эффективно используется избыточное давление доменного газа для выработки электроэнергии. Опыт освоения УСТК и ГУБТ нашел широкое распространение не только на предприятиях СССР, но и во многих странах мира.

Общая потребность комбината в топливе на 33 % обеспечивается за счет использования вторичных энергоресурсов.

Мощная сеть очистных сооружений позволяет эффективно защищать водный и воздушный бассейны от вредных выбросов.

Ремонтная база

В состав ремонтной базы управления главного механика (УГМ) входят семь цехов: ремонтно-механический, котельно-монтажный, фасонно-литейный, ремонта металлургического оборудования, ремонта прокатного оборудования, ремонта сталеплавильного оборудования, изложниц.

На комбинате используется метод агрегатно-узлового ремонта, сущность которого заключается в том, что на место отслуживших устанавливаются новые, изготовленные в цехах ремонтной базы, крупные узлы и агрегаты улучшенной конструкции. В период подготовки к ремонтам выполняется большой объем работ по изготовлению оснастки, укрупненной сборке узлов массой 200 т и более. Кожух доменных печей, например, в подготовительный период собирается по поясам. Затем на специальном стенде выполняется контрольная сборка нижестоящего пояса с вышестоящим. Замена узлов, засыпного аппарата, электропушек и многих других агрегатов осуществляется одним агрегатным узлом. Старый

кожух остановленной на ремонт домы заменяется по принципу вертикального потока. Все это позволило провести капитальные ремонты первого разряда доменных печей № 1 и № 2 за 44 сут, № 3 за 49 сут. Особо следует отметить капитальный ремонт первого разряда доменной печи № 4 в 1984 г. Небывалый объем работ был выполнен в короткие сроки — в течение 50 вместо 70 сут, предусмотренных нормативами. На реконструированной печи установили новое, более совершенное оборудование.

Применение узлового метода капитальных ремонтов электросталеплавильных печей обеспечило снижение их продолжительности с 8 до 4 суток, благодаря замене подины и кожуха в собранном и зафутерованном виде двумя узлами при помощи специальной оснастки для демонтажа и монтажа печи, а специальная оснастка обеспечила демонтаж и монтаж печи укрупненными узлами массой до 150 т.

Впервые в мировой практике комбинатом совместно с ВНИИметмашем созданы двухвалковые блочные клетки безстапного типа с радиальными самоустанавливающимися подшипниками жидкостного трения. При этом значительно улучшилось качество выпускаемой продукции, увеличилась производительность и ресурс клеток. На протяжении 16 лет эксплуатации клетки не ремонтировались.

В цехах УГМ (управление главного механика) ведется постоянная работа по совершенствованию технологических процессов, широкому внедрению в производство новой техники, механизации производственных процессов. За последние годы в ремонтно-механическом цехе установлено более 50 высокопроизводительных металлорежущих станков, в том числе 43 с числовым программным управлением, что обеспечило изготовление деталей сложной конфигурации почти 750 наименований.

Хранение готовой продукции и полуфабрикатов, их учет с помощью ЭВМ, механизация погрузочно-разгрузочных работ проводится на механизированных складах, строительство которых обеспечило также значительное высвобождение производственных мощностей.

Для повышения стойкости деталей применяются различные методы упрочнения: термической обработки, пластического деформирования, упрочняющей наплавки. Расширились области применения таких видов упрочнения, как объемная закалка, закалка токами высокой частоты, сорбитизация, химико-термические способы. Од-

нако наиболее распространенный вид упрочнения и восстановления в настоящее время — дуговая наплавка. Эксплуатация наплавленных валков стана 2000, например, показывает, что на них можно прокатать более 3 млн.т металла (для черновой группы клетей). В цехе холодной прокатки применяется технология плазменной наплавки порошковыми материалами деталей металлургического оборудования.

В ремонтных цехах используется оборудование по плазменному и газотермическому напылению.

Ускорению внедрения достижений науки и техники в производство способствуют тесные контакты с ведущими исследовательскими институтами страны и промышленными предприятиями.

Развитие комбината

Развивается и совершенствуется транспорт комбината: железно-дорожный, водный, автомобильный. Характерной особенностью является широкое применение конвейерного транспорта не только для внутрицеховых, но и междоцеховых перевозок сырья и материалов. С каждым годом объем перевозок по комбинату растет. С пуском доменной печи № 5 значительно возрос конвейерный транспорт, обеспечивающий транспортирование грузов из промышленного порта.

Семь вычислительных центров (включая центральный) обеспечивают автоматизированное управление комбинатом.

Развитие комбината связано с ликвидацией диспропорций между отдельными производствами и устранением узких мест. Для обеспечения доменной печи сырьем, топливом и кислородом, а также своевременной реализации чугуна предстоит построить дополнительно коксовую батарею, агломашину, два кислородных блока; довести мощность конвертерного цеха до 7 млн.т стали в год. В программе увеличения выпуска проката на комбинате предусматривается ввод в эксплуатацию новых металлургических агрегатов: нагревательной печи на стане 2000; пятиклетевого бесконечной прокатки и дрессировочного станов в цехе холодной прокатки и др.

1.2 ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ

Концентрация современного производства стала возможной и эффективной в результате появления мощных высокопроизводительных агрегатов. Metallургический комплекс в составе доменной печи, конвертерного цеха и широкополосного стана 2000 горячей прокатки обеспечивает производство более 6 млн.т проката в год.

Большой ассортимент и значительный объем выпускаемой продукции, разнообразие технологических процессов, агрегатов и режимов их работы — все это требует высокого уровня организации системы управления комплексом. Создание взаимосвязанных систем управления АСУТП и АСУП, сосредоточенных на основной производственной деятельности комплекса, является важнейшей задачей.

Доменная печь

Стабильная и эффективная работа доменной печи (рис. 1.1), особенно большого объема, в значительной степени зависит от распределения газа по сечению печи. Технолог должен знать причины и условия неравномерного распределения газов, определять действительную неравномерность, устанавливать распределение для каждого случая и направлять процесс плавки таким образом, чтобы распределение газов было наилучшим с точки зрения использования тепла и восстановительной способности.

Для максимального использования газов в доменном процессе важное место имеет рациональная загрузка, обеспечивающая хорошую обработку шихты и равномерное распределение газовых потоков по сечению печи. Потребность того или иного газораспределения вызывает соответствующее изменение распределения материалов при загрузке. Перераспределение материалов при опускании в шахте печи также влияет на газовые потоки, существенно меняя первоначальное распределение их на колошнике. Степень полноты загрузки печи, дутьевой режим и другие обстоятельства оказывают значительное влияние на температуру и состав газа, особенно на ее периферии.

Высокая газопроницаемость шихты, равномерное, рациональное и устойчивое распределение газов по сечению печи создают условия для высокой производительности и низкого расхода кокса. О степени неравномерности газового потока можно судить по данным

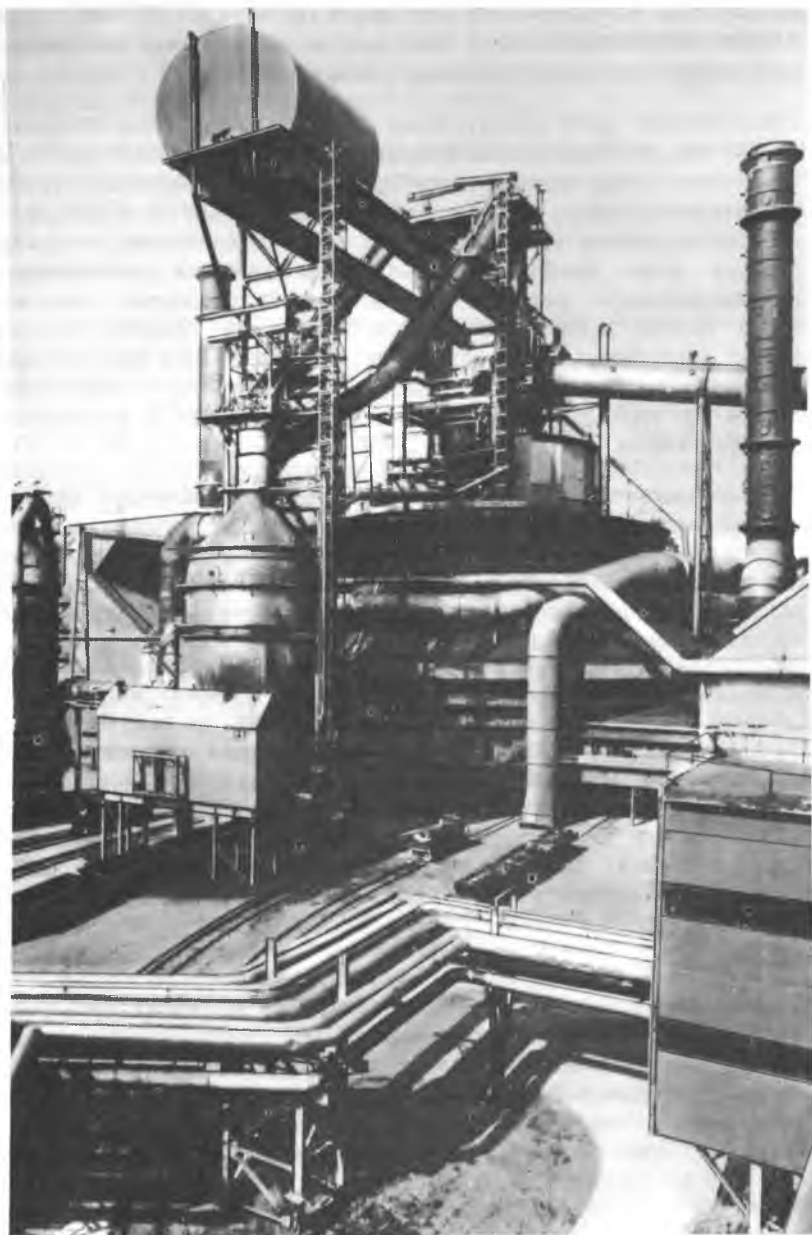


Рис.1.1. Общий вид доменной печи № 5

1145 431

ВОЛОГОДСКАЯ
областная библиотека
им. И. В. Бабушкина

анализа газа на содержание CO , CO_2 и H_2 , измерения температуры и статического давления с помощью горизонтальных измерительных зондов, установленных ниже уровня засыпи.

Накопленный опыт эксплуатации горизонтальных измерительных зондов на доменных печах показал, что для печей большого объема одного зонда недостаточно. Это связано с увеличением размеров горизонтального сечения печей и значительно большей вероятности нарушения распределения материалов и газового потока по радиусу печи. Наиболее рациональным является диаметрально противоположное расположение зондов, позволяющее получить более полное представление о распределении газового потока. Кроме того, для оценки характера газового потока неплохо привлекать и другие показатели, например, температуру поверхности шихты на уровне засыпи, определяемую с помощью термовизорного устройства.

Совокупность технологических процессов, определяющих газораспределение в доменной печи, описывается математическими моделями: профиля загрузки и распределения шихтовых материалов; газораспределения; расположения нижней границы пластичной (когезивной) зоны и др. С помощью реализации моделей на ЭВМ определяются важнейшие характеристики процессов, необходимые для формирования управляющих воздействий на загрузочное устройство доменной печи.

С моделью профиля загрузки и распределения шихтовых материалов связано определение: распределения материалов по слоям с отображением их сегрегации; значений рудной нагрузки по радиусу и удаленности нижней границы пластичной зоны от зоны расположения кокса. Теория образования пластичной зоны, разработанная в последние годы, объясняет сложные процессы распределения продуктов плавки и газа в печи.

Известно, что при отсутствии четко выраженной точки изгиба на кривой расположения пластичной зоны, газ проходит преимущественно через нижние коксовые окна этой зоны. При периферийном ходе печи это способствует равномерной газопроницаемости всех слоев руды и кокса. В результате улучшается степень использования газа, снижается расход кокса и повышается производительность, однако при этом наблюдаются высокие термические нагрузки на стенки распара и нижней части шахты. При смещении точки изгиба на кривой вверх высота пластичной зоны достигает горизонта, находящегося на половине высоты шахты; при этом газ проходит через средние и верхние коксовые окна, что приводит к

центральному ходу печи, снижению степени использования газа, повышению термических нагрузок на стенки нижней части шахты и их уменьшению в области распара; работа печи становится непроизводительной при высоком расходе кокса.

С помощью модели "сухой" зоны печи определяются показатели газораспределения с оценкой степени его использования в зонах и в целом по печи. Модель позволяет рассчитывать минимальную и фактическую потребность в углероде как восстановителе и источнике тепла.

Для технологического персонала термовизорное устройство представляет дополнительную информацию, которая основана на: зависимости между распределением температур на поверхности засыпи и эффективным газораспределением; выявлении резких отклонений от нормального хода доменной печи (например, канального хода); своевременном определении ухудшения схода шихты и газопроницаемости; оценке неравномерности распределения материалов и газового потока в целом по сечению печи на уровне засыпи. Измерение распределения температур по периферии печи, а также по двум взаимно перпендикулярным диаметрам позволяет определять условия газораспределения столба шихты.

Обобщение и представление показателей газораспределения и использования газового потока в виде динамических графиков на экране терминала удобны для восприятия и принятия решений технологическим персоналом. Для решения поставленных задач доменная печь № 5 оснащена системой автоматического контроля и управления газораспределением, разработанной и поставленной фирмой "Сименс".

Измерение параметров газораспределения проводится горизонтальными измерительными зондами фирмы "Данго и Диненталь Зиген" (ФРГ); кроме них в состав системы автоматического контроля и управления газораспределения входят газоанализаторы повышенной точности, устройства управления зондами и ЭВМ фирмы "Сименс". В качестве термовизорной установки применяется "Спиротерм" фирмы "Мессметаллургия" (ФРГ). Математические модели для обработки информации и формирования управляющих воздействий разработаны совместно фирмами "Сименс" и "Тиссен Шталь АГ" (ФРГ) [7], [8].

Система автоматического контроля и управления газораспределением является подсистемой АСУ доменной печи № 5 с соответствующими взаимосвязями с информационными подсистемами.

Сталеплавильное производство

Развитие современного конвертерного производства характеризуется использованием агрегатов большой емкости с последующей разливкой металла на машинах непрерывного литья заготовок. К качеству стали, выплавляемой на таких мощных сталеплавильных комплексах, предъявляются особые требования.

Проблема управления конвертерным процессом диктует необходимость технологических требований, предъявляемых к жидкой стали с позиций качества продукции и производительности МНЛЗ. Задачи получения требуемого качества непрерывнолитых заготовок и стабилизации режима литья стали на МНЛЗ выдвигают в первую очередь ограничения по таким наиболее важным параметрам, как диапазон колебаний температуры металла и его газонасыщенность при одновременном снижении содержания серы и фосфора перед выпуском жидкой стали из конвертера.

Незначительные отклонения температуры разливаемого металла на МНЛЗ от оптимального значения существенно влияют на качество слитка. При разливке переохлажденного металла поверхность непрерывных слитков в большей степени поражена такими дефектами, как пояса, завороты, плены, крупные неметаллические включения. Дефекты возникают вследствие неудовлетворительной организации струи металла, "замораживания" канала стакана-дозатора и связанными с этим частыми прожиганиями его кислородом, образованием на мениске металла в кристаллизаторе грубого гарнисажа и т.д.

При разливке на МНЛЗ перегретого (выше оптимальных значений) металла повышается склонность стали к образованию поверхностных и внутренних трещин, увеличиваются осевые пористость и ликвация в непрерывных слитках, снижается эффективность управления процессами структурообразования литого металла в результате варьирования теплоотвода в зоне вторичного охлаждения. С увеличением степени перегрева разливаемой стали оболочка непрерывного слитка на выходе из кристаллизатора утончается, что приводит к необходимости снижать скорость вытягивания слитка вследствие опасности прорывов жидкого металла под действие ферростатического давления. Кроме того, повышение температуры разливаемой стали приводит к увеличению расхода и размыву огнеупорных материалов футеровки промежуточного ковша и стопорных пар, что вызывает снижение срока службы отдельных технологических узлов МНЛЗ, нарушение стабильности

разливки, повышение загрязненности непрерывных слитков экзогенными неметаллическими включениями.

Высокая газонасыщенность металла снижает пластические свойства стали, способствует образованию горячих трещин и подкорковых пузырей в слитке.

Повышенное содержание вредных примесей в стали (серы, фосфора) также уменьшает пластичность металла, что приводит к образованию трещин различного вида на поверхности слитка и внутри, и, кроме того, к снижению механических свойств готовой металлопродукции, особенно по ударной вязкости.

Требования к выплавляемой стали по минимальному разбросу технологических параметров металла и шлака в условиях высокопроизводительного комплекса конвертер — МНЛЗ с работой в режиме разливки металла методом "плавка на плавку" еще более ужесточаются.

Жесткие требования к качеству металла накладывают ограничения на физические и химические свойства конечного шлака. Шлак должен быть однородным, пределы изменения окисленности и основности шлака должны находиться в заданном диапазоне.

Необходимо отметить, что задача выполнения одного из указанных выше требований к качеству металла и шлака в большинстве случаев автоматически предполагает выполнение требований к другим параметрам. Например, получение минимального содержания серы и фосфора в металле накладывает ограничения на окисленность конечного шлака, так как высокоокисленные шлаки способствуют интенсивному развитию процессов рефосфорации, а также разрушают футеровку сталеразливочных ковшей в районе шлакового пояса.

Ход конвертерного процесса существенно влияет на выбор основных параметров, определяющих качество стали (температуру и химический состав металла, физические свойства шлака и т.п.), отсюда следует, что чем больше достоверной информации о ходе процесса продувки, тем легче уменьшить разброс основных выходных параметров, т.е. обеспечить стабильное и высокое качество металла на выпуске. Это имеет первостепенное значение, если учесть, что различные исправления параметров плавки, наряду с увеличением ее продолжительности, при доведении одного параметра до необходимого уровня обычно вызывают ухудшения других. Например, при продувке плавки для повышения температуры металла увеличивается его окисленность.

Возможность эффективного контроля основных технологических параметров в ходе процесса создания надежной системы управления позволяет значительно сократить число и продолжительность корректировок разливки, тем самым стабилизируется длительность плавки и обеспечивается четкое выполнение графика работы комплекса конвертер — МНЛЗ благодаря исключению или уменьшению числа опозданий плавки на разливку и, следовательно, снижается количество аварийных ситуаций. При разливке металла на МНЛЗ методом "плавка на плавку" особенно большое значение приобретает соблюдение графика выпусков металла из конвертера, уменьшение разброса температуры и химического состава металла, содержание FeO , основности и жидкотекучести шлака.

При опозданиях плавки на МНЛЗ резко снижается качество слитка, получаемого в переходном режиме разливки, образуются пояса, возможно попадание шлака в кристаллизатор, что может привести к прорыву жидкого металла. Высокая скорость конвертерного процесса ставит серьезные проблемы перед системой управления, обуславливая жесткие требования к информационной системе и быстрдействию управления синхронно с процессом.

Основные параметры — химический состав и температура металла — подлежат контролю в конце продувки, в связи с чем главной задачей для системы управления является получение заданного содержания углерода и необходимой температуры стали на выпуске при первой продувке. Должны также выполняться следующие основные технико-экономические показатели и требования: минимизация расхода чугуна, скрапа, шлакообразующих, кислорода и легирующих материалов на тонну стали, максимизация длительности кампании конвертера с целью уменьшения расхода огнеупоров, обеспечение воспроизводимого течения процесса продувки с минимальным количеством выбросов.

Перечисленные требования следует удовлетворять путем стандартизации шихтовки и планов продувки, применения современных математических моделей управления плавкой, а также новейших технических средств сбора информации о ходе процессов в конвертере, включая измерительный зонд, обеспечивающий измерение содержания углерода в стали, температуру ванны и взятие пробы без прерывания продувки.

Ручное управление плавкой не обеспечивает требуемой точности установления момента окончания продувки. Система ручного управления медленно приспосабливается к существенным изменениям возмущающих воздействий (качества лома, извести, агло-

мерата, химического состава чугуна и др.) и заданий (переход на выплавку стали другой марки). Оператор надежней работает в установившемся режиме (постоянное задание от плавки к плавке, несущественные колебания возмущений), приспособившись к сложившейся ситуации; вариации заданий и возмущений выбивают его из первичного ритма работы, именно в этом заключается основная причина необходимости разработки методов управления конвертерной плавкой с применением УВМ.

В управлении конвертерным процессом различают алгоритмы статического и динамического управления. Статическое управление представляет собой решение задач шихтовки и расчета суммарного количества кислорода, необходимого на плавку при заданных программах дачи сыпучих материалов, а также изменения режима продувки (мгновенный расход кислорода и положение фурмы). Все расчеты осуществляются до начала очередной плавки, следовательно, текущая информация о ходе процесса не используется.

В ряде случаев программа изменения режима продувки задается с точностью до момента изменения управляющих воздействий, а опорные уровни положения фурмы и мгновенный расход кислорода в каждый период плавки оцениваются в соответствии с расчетным суммарным количеством кислорода, необходимого для продувки. Программы могут быть заданы в шагах времени либо в шагах продутого с начала плавки кислорода. Последний подход следует считать более правильным, так как интенсивностью продувки в значительной степени определяется скорость развития процессов, протекающих в конвертерной ванне.

Динамическое управление ходом плавки предусматривает: учет текущей информации о конвертерном процессе, получаемой непосредственным измерением основных параметров; выработку динамических управляющих воздействий, включая расход кислорода, положение продувочной фурмы и распределение присадок сыпучих материалов во времени. Цель динамического управления — получение к моменту прекращения продувки заданных температуры и концентрации углерода, а также определение траектории изменения этих параметров в процессе плавки.

В динамических системах управления конвертерной плавкой используются результаты непосредственного измерения основных выходных параметров: содержания углерода (C) и температуры металла t_m ; скорости окисления углерода, характеризуемой содержанием CO и CO₂ в отходящих газах.

Примером управления с использованием прямых измерений C и t_m могут служить системы с зондовым измерением, сущность которого заключается в том, что в процессе плавки проба металла отбирается с помощью специального водоохлаждаемого зонда и одновременно измеряется температура t_m . Содержание углерода определяется методом "ликвидус" по температуре затвердевания пробы металла в пробнице, помещенной в зонд. Результаты измерений являются основными величинами для расчета управляющих воздействий, реализуемых от момента замера до окончания продувки и обеспечивающих достижение заданных конечных значений температуры металла и содержания в нем углерода.

Конвертерный цех Череповецкого металлургического комбината оснащен автоматизированной системой динамического управления конвертерной плавкой, разработанной и поставленной фирмой "Сименс". Основное назначение системы — выполнение расчетов масс компонентов шихтовых материалов и необходимого количества кислорода на продувку для выплавляемой марки стали; формирование управляющих воздействий, учитывающих возмущения и обеспечивающих достижение заданных выходных параметров с необходимой точностью.

В УВМ системы реализованы статические и динамические модели. Статические модели предназначены для предварительного расчета шихтовки и общего расхода кислорода на плавку на основе материального и теплового балансов, а также последующих расчетов по ходу плавки (три раза) с использованием имеющихся фактических данных о процессе. Динамическая модель используется для проведения расчета нагрева и обезуглероживания плавки по ходу продувки, кроме того, с ее помощью проводятся расчеты конца продувки и ее остановки при достижении заданных температуры металла и содержания углерода. Управление подачей раскислителей и легирующих материалов в ковш осуществляется на основе специальной модели.

К особенностям математических моделей конвертерной плавки относятся: использование в них результатов исследований физической химии и термодинамики сталеплавильных процессов, способствующих получению более точных результатов, применение модели коррекции расчета конца продувки на основе контроля содержания углерода и температуры металла с помощью измерительного зонда фирмы "Крупп" (ФРГ) и методов автоматической адаптации. Математическое обеспечение, разработанное совместно фирмами "Сименс" и "Крупп", соответствует современному уровню автоматизации конвертерного производства.

Благодаря сбору, обработке и накоплению информации АСУТП реализует следующие функции: выдачу оперативных и отчетных документов; планирование производства, обеспечивающее управление последовательностью плавов; связь с АСУТП литья заготовок. В целом, автоматизированная система управления конвертерной плавкой улучшает основные технико-экономические показатели плавки: производительность конвертера, длительность кампании конвертера по футеровке, качество выплавляемого металла и др.

Основным назначением автоматизированной системы управления машинами непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) является стабилизация и оптимизация технологического процесса с целью повышения их производительности, качества слывов и увеличения выхода годного металла. В системе широко используются микро-процессорная техника и УВМ.

АСУТП МНЛЗ осуществляет: измерение, контроль и сигнализацию отклонений от нормы основных технологических параметров процесса непрерывного литья стали; расчет и выдачу рекомендаций по выбору номинальных значений параметров непрерывного литья, в том числе режима охлаждения слыва; контроль и управление тепловым и гидравлическим режимами кристаллизатора, управление процессом кристаллизации слыва; расчет оптимального раскря и управление мерным порезом слитка; контроль состояния оборудования МНЛЗ, учет и анализ производства.

Технические решения по автоматизации МНЛЗ, апробированные в промышленных условиях конвертерного цеха, широко используются при создании АСУТП для ряда МНЛЗ различных стран мира.

Централизованный контроль и управление энергетическими объектами производится при помощи АСУТП энергетического хозяйства.

Действующие АСУТП конвертерной плавки, литья заготовок и энергетического хозяйства, объединенные с помощью многомашиной вычислительной сети, образуют интегрированную систему управления конвертерным цехом. Основные функции интегрированной системы управления: учет, анализ и планирование производства, включая расчет контактного графика работы конвертерного отделения и отделения литья заготовок.

Прокатное производство

Непрерывный широкополосный стан 2000 горячей прокатки Череповецкого металлургического комбината относится к числу высокопроизводительных агрегатов третьего поколения. Стан отличается большой единичной мощностью (более 6 млн.т/год проката) и высокой степенью подготовленности к автоматизации, что и обусловило необходимость и целесообразность оснащения стана автоматизированной системой управления технологическим процессом фирмы "Сименс".

Развитию станов третьего поколения способствовали расширение сфер применения листовой стали и ужесточение требований к ее качеству: точности размеров, степени планшетности, состоянию поверхности и физико-механическим свойствам горячекатаных полос. Создание станов тесно связано с освоением машин непрерывного литья плоских заготовок большой массы, нового типа мезонных нагревательных печей с шагающими балками.

Ряд принципиальных преимуществ печей с шагающими балками делает их эффективным средством нагрева слэбов, к ним относятся: высокая общая и удельная производительность при достаточно гибкой технологии нагрева слэбов, которые могут существенно отличаться в смежных партиях размерами и теплофизическими свойствами; высокое качество нагрева металла, которое характеризуется небольшим градиентом температур по толщине слэбов, низким угаром стали, а также практически отсутствием травм и холодных пятен, которые обычно получают в толкательных печах на слэбах, скользящих по глиссажным трубам; высокая степень механизации транспортных операций, специфической особенностью которой является возможность размещать слэбы различной толщины вдоль балок (по длине печи) с интервалами и перемещать их как в прямом, так и в обратном направлениях (к торцу выдачи или торцу загрузки слэбов в печь), а также приостанавливать перемещение слэбов в аварийных ситуациях без опасения образования на их нижней поверхности следов балок (в этом случае шагающие балки совершают только вертикальное перемещение, снимая слэбы с неподвижных балок и вновь укладывая их через заданные интервалы времени в исходное положение); транспортировка слэбов шагающими балками исключает явление вибрации несущих конструкций, имеющее место на толкательных печах, для которых характерно в связи с этим быстрое разрушение изоляции подовых труб.

Примером современных нагревательных средств могут служить

печи конструкции Стальпроекта, установленные перед широкополосным станом 2000 на Череповецком металлургическом комбинате. Печи обеспечивают заданный режим нагрева стали широкого сортамента в катаных и литых слябах массой до 40 т.

Появление станом третьего поколения вызвало в свою очередь потребность совершенствования технологических процессов, создания соответствующего оборудования и систем автоматизации. На этой основе последние черновые клетки стана 2000 объединены в непрерывную группу (впервые в мировой практике). Благодаря сближению черновых клеток осуществляется непрерывная прокатка раскатов, а капитальные затраты при строительстве широкополосного стана (рис. 1.2) снижаются на 10 – 15 %.

Прокатка металла в клетях непрерывной черновой подгруппы с различными заправочными скоростями и темпами ускорения позволила уменьшить потери тепла нагретого металла (время прокатки сляба на раскат в черновой группе уменьшилось на 15 – 20 %). Температура раскатов, поступающих на чистовую группу стана, увеличилась на 40 – 50°C.

Тепловые потери раскатов уменьшаются за счет увеличения их толщины. Применение раскатов толщиной 50 – 60 мм вместо 30 – 35 мм позволяет сводить тепловые потери к минимуму за счет уменьшения скорости охлаждения металла и сокращения на 35 – 40 % времени движения раската по укороченному ролюгангу.

Увеличение массы сляба повлекло за собой повышение скорости прокатки. Применение высоких скоростей прокатки металла вызвало необходимость: увеличения мощности электроприводов; повышения быстродействия нажимных устройств; увеличения эффективности системы контроля технологического процесса и управления оборудованием стана; предупреждения или снижения отрицательного влияния динамических процессов образования и, в частности, на контактные поверхности подушек валков, а также кинематических звеньев привода, интенсивный износ которых снижает точность размеров проката.

Проблема уменьшения износа поверхности бочек рабочего и опорного валков решена путем применения: термоизносостойкого материала для изготовления валков; рациональной технологии их отливки иликовки; плазменно-механической обработки и наплавки опорных валков; эффективных методов охлаждения бочек валков водой; рациональных способов приготовления и нанесения на валки технологических смазок. Современные методы эксплуатации валков создают благоприятные условия для авто-

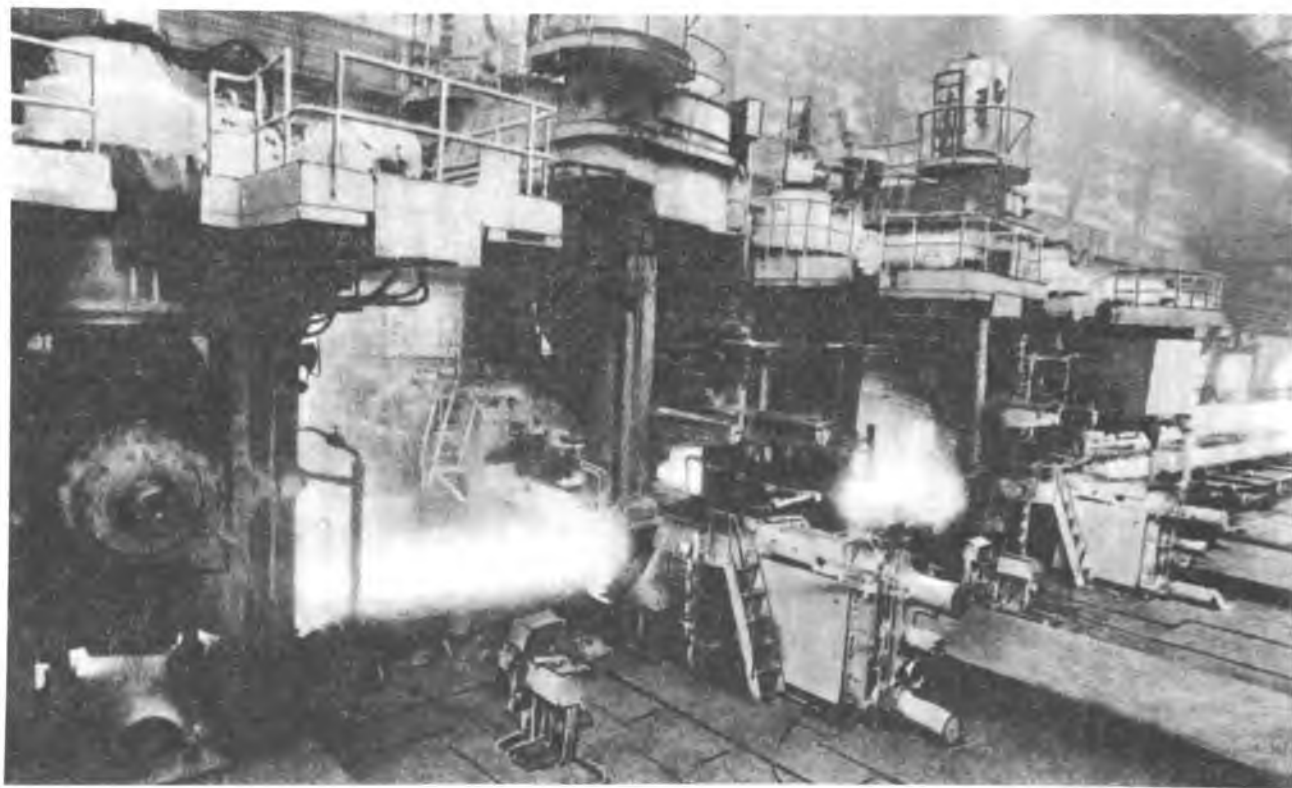


Рис. 1.2. Черновая группа клеток широкополосного стана 2000

матического управления профилем и формой прокатываемых полос с помощью ЭВМ.

Основные задачи управления технологическими процессами на широкополосном стане 2000 горячей прокатки и требования к оборудованию заключаются в следующем.

Главным направлением при создании средств нагрева металла является максимальная автоматизация процесса от загрузки слывов в печь до выдачи их на рольганг прокатного стана. В связи с этим конструктивные и теплотехнические параметры печи должны отвечать требованиям современных АСУТП. Необходимо, чтобы все операции по управлению печью и перемещению слывов были полностью механизированы. Необходимо также, чтобы форма и параметры зон, составляющих рабочий объем печи, способствовали созданию греющей среды, температура которой быстро и точно реагирует на процесс регулирования количества теплоносителя, поступающего в данную зону, и не зависит от характера и степени регулирования соответствующей температуры в смежных зонах печи. Места установки датчиков должны обеспечивать адекватность их показаний реальному процессу нагрева и перемещения слывов. Нагрев слывов в печи должен быть симметричным по толщине при практически одинаковой тепловой мощности верхних и нижних зон.

В свою очередь, при разработке АСУТП следует исходить из необходимости обеспечения нагрева слывов широкого марочного и размерного сортамента до заданных температур поверхности и градиента температур по толщине при регламентированной производительности агрегатов и возможных динамических изменениях условий их работы в процессе непредвиденных или плановых перерывов в процессе нагрева или прокатки металла. Применение УВМ в системах автоматического управления печами позволяет выполнять последовательный и непрерывный машинный расчет заданий регуляторам в соответствии с математической моделью процесса нагрева металла, а также своевременную адаптацию элементов модели к реальным условиям работы агрегатов. Благодаря УВМ слывы в печи равномерно нагреваются до заданных температур в течение оптимального времени при существенной экономии топлива.

Последнее особенно важно на печах, имеющих высокую удельную производительность при соответственно высокой температуреходящих газов. УВМ обеспечивает максимальное использование тепловой мощности печи на основе рационального формирования

темпа выдачи нагретых слабов, которое учитывает степень загрузки (размеры, масса, плотность укладки) и длительность цикла прокатки сляба.

При помощи УВМ прогнозируется режим работы группы печей в случае выхода из строя одной из них или любого агрегата в линии прокатки, а также в случае нарушения ритма прокатки, неординарного изменения сортамента слабов, толщины раскатов готовых полос.

Главной задачей управления черновой группой клетей является настройка оборудования, обеспечивающая соответствующие положения рабочих валков вертикальных и горизонтальных клетей и скорости электроприводов для получения заданных толщин, ширин и температур подката.

Черновая группа клетей широкополосного стана является нестационарным стохастическим объектом, для которого характерны неконтролируемые случайные отклонения толщины, ширины и температуры слабов, их макроструктуры и состояния поверхности, состояния поверхности бочек рабочих валков и формы их образующей. В связи с этим модель прокатки слабов на подкат для чистовой группы должна содержать структуры, определяющие характер и степень ее адаптации к реальным условиям процесса. Автоматическое управление процессом должно осуществлять начальную настройку или перестройку оборудования клетей в соответствии с программой прокатки, а также коррекцию настройки в соответствии с изменяющимися условиями деформации металла, изменениями в состоянии оборудования черновой группы клетей и новыми задачами, возникающими на чистовой группе стана.

Основной задачей УВМ является распределение общего обжатия сляба по толщине и ширине по активным (работающим) клетям черновой группы. Цель расчета состоит в получении раската требуемых размеров, причем максимально допустимые относительные и абсолютные обжатия по толщине и ширине раската, усилие, момент и мощность прокатки не должны превышать. Результаты расчета режима обжатий в виде уставок передаются в локальные системы управления черновой группой клетей.

Получение на выходе стана заданных толщины, профиля, формы и температуры полосы за последней клетью требуют соответствующей настройки чистовой группы клетей, автоматического регулирования размеров и плоскостности полос, температурно-скоростных режимов прокатки.

Главной задачей УВМ по управлению процессом прокатки в чистовой группе клеток (рис. 1.3) является выбор распределения общего обжатия подката по клетям и определение скорости прокатки. При этом технологические параметры процесса не должны выходить за пределы технических возможностей оборудования стана. Оптимальное распределение обжатий металла по клетям чистовой группы стана является одним из важнейших условий для получения готовой полосы требуемого качества.

Параметры прокатки, определяемые при расчете программы обжатий, используются для формирования установок локальным системам регулирования. В математической модели процесса прокатки применяются адаптационные уравнения, методы решения которых аналогичны методам, использующимся в модели черновой группы клеток.

На отводящем рольганге стана продолжается начатое в нагревательных печах активное формирование качества горячекатаных полос путем создания таких условий их охлаждения, чтобы обеспечивались заданная микроструктура и механические свойства металла. Для эффективного управления условиями охлаждения полос применяют автоматические системы, в состав которых входят УВМ.

Автоматизированные моталки, установленные в линии отводящего рольганга, оказывают существенное влияние на качество готовой продукции и производительность стана.

Математическая модель расчета температуры горячекатаной полосы на отводящем рольганге стана, которая вводится в УВМ, создается на основе учета необходимого в каждом конкретном случае характера и степени изменения температуры металла, количества включенных в работу зон участка охлаждения, количества валков в каждой зоне, степени раскрытия задвижек на водоводах и закона чередования секций искусственного и естественного охлаждения металла.

Исходными данными для расчета режима охлаждения полос являются выходные параметры модели настройки чистовой группы клеток: толщина и ширина готовой полосы, температура конца прокатки, скорость и ускорение процесса прокатки. Величины этих параметров уточняются после выхода головной части полос на отводящий рольганг.

В зависимости от данных, характеризующих готовую полосу, УВМ определяет необходимые параметры настройки моталок.

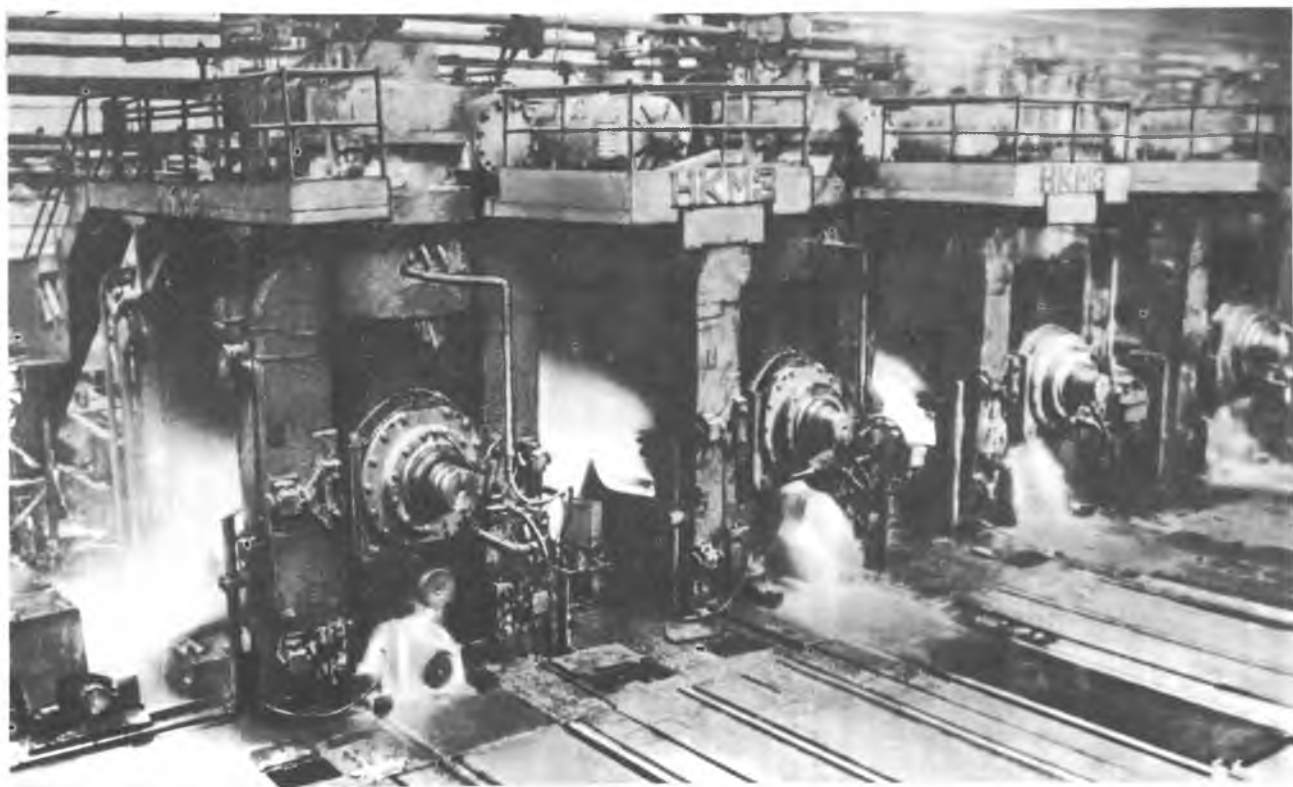


Рис. 1.3. Чистовая группа клеток широкополосного стана 2000

Основные функции комплекса АСУТП стана 2000, разработанного и поставленного фирмой "Сименс", подчинены выполнению перечисленных задач управления технологическим процессом производства горячекатаных полос. Комплекс состоит из двух систем: АСУТП 1 для управления процессами загрузки слабов в печи, их нагрева и выгрузки из печей; АСУТП 2 для управления процессами прокатки металла, охлаждения полос и свертывания их в рулоны. Основным техническим средством каждой системы является УВМ фирмы "Сименс": в составе АСУТП 1 используется С-305, в составе АСУТП 2 – С-306.

Комплекс АСУТП стана объединяет 65 локальных систем автоматического управления технологическими процессами, начиная от загрузки слабов в печи до маркировки готовых полос, свернутых в рулоны. В работе этих систем используются датчики положения металла на производственной линии печи – прокатные клети – моталки, датчики положения механизмов оборудования стана, датчики температуры сляба, полосы, измерители усилия и момента прокатки, измерители толщины и ширины полосы и др.

Информационными функциями АСУТП являются сбор, обработка, хранение и представление информации оперативному персоналу, передача информации в смежные и вышестоящие АСУ.

Современный широкополосный стан 2000 горячей прокатки представляет собой сложный организационно-технический комплекс. В состав его входят прокатное и энергетическое оборудование, технологические и производственные процессы, материальные и информационные потоки. Эффективное управление листопрокатным цехом осуществляется с помощью автоматизированной системы управления производственными процессами (АСУП). Основное назначение АСУП – сбор и обработка информации о ходе производства, формирование оперативных данных, необходимых управленческому персоналу для управления цехом.

Системы управления металлургическими агрегатами объединяются в интегрированную систему управления производством комплекса цехов.

Функционирование АСУП базируется на использовании технических средств обработки информации, периферийной техники и других средств оргтехники по подготовке и отображению информации. Состав и структура этих средств, а также режим работы соответствующих устройств находятся в непосредственной зависимости от производственной структуры цехов, организационных систем управления и их функционирования.

2 ДОМЕННАЯ ПЕЧЬ № 5

Доменная печь № 5 — сложный технический комплекс для выплавки чугуна, при проектировании и строительстве которого использованы все известные в практике доменного производства технические решения.

Новая печь отличается от существующих доменных печей не только объемом и масштабами выплавки чугуна, но и высокими технико-экономическими показателями, что обеспечивается с помощью управления совокупностью производственных и технологических процессов, осуществляемого на базе современных научных методов контроля и управления с применением новейших средств автоматизации, микропроцессорной и вычислительной техники.

2.1 ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ВЫПЛАВКИ ЧУГУНА

Доменная печь № 5 была задута в апреле 1986 г., раздувочный период завершен в мае, после чего печь вышла на рабочий режим. Ускорение темпа освоения работы печи произошло благодаря успешной задувке, рациональному соотношению параметров дутья и режима загрузки, высоким уровням автоматизации и организации производства, надежной работе технологического оборудования.

Проектный уровень суточного производства (9800 т) первого этапа освоения был превышен в августе 1986 г. (что на четыре месяца меньше нормативного срока), после чего выпуск чугуна поступательно наращивался. Начиная с февраля 1987 г. производство превышает 10 — 11 тыс.т в сутки. Коэффициент использования полезного объема печи за 1988 г. составляет 0,510 (по проекту — 0,560). Расход кокса в процессе освоения работы печи снижался и в сентябре 1986 г. достиг проектного уровня 455 кг/т чугуна, а в 1988 г. уже составил 423 кг/т чугуна.

Доменная печь работает на дутье, нагретом до 1160°C и обогащен-

ном кислородом до 23,5 %, с вдуванием в горн природного газа. Доменная шихта состоит из местного офлюсованного агломерата, привозных офлюсованных костомукшских окатышей и местного кокса сухого тушения, спекаемого из смеси печорских и кузнецких углей. Содержание окатышей в железорудной шихте изменяется от 25 до 33 %.

Доменная печь № 5 сооружена по проекту Ленгипромеца. Основные размеры профиля печи приведены ниже (для сопоставления приведены данные по доменным печам № 9 Криворожского и № 6 Новолипецкого металлургических комбинатов):

Доменная печь	№ 5	№ 9	№ 6
Полезный объем, м ³	5500	5000	3200
Диаметр, м:			
горна	15,1	14,7	12,0
распара	16,5	16,1	13,3
колошника	11,2	10,8	8,9
Высота, м:			
полезная	34,8	32,8	33,1
до оси воздушных фурм . .	5,2	4,5	4,1
горна	5,7	5,0	4,6
запечников	3,7	3,7	3,4
распара	2,0	1,1	1,9
шахты	20,4	20,7	20,0
колошника	3,0	3,0	3,2
Угол наклона шахты	82°35'55"	79°17'	83°43'22"
Угол наклона запечников . .	79°17'13"	77°27'	79°10'37"
Число воздушных фурм	40	42	32
Число чугунных леток	4	4	4
Отношение:			
полезного объема печи к			
площади сечения горна . . .	30,7	29,5	28,3
полезной высоты к диа-			
метру распара	2,11	2,04	2,49
диаметров распара и горна .	1,093	1,095	1,108
диаметров колошника и			
распара	0,679	0,671	0,669
диаметров горна и колош-			
ника	0,742	0,735	0,742

Доменная печь оборудована четырьмя летками для выпуска чугуна. Разливка чугуна предусматривается в передвижные миксеры. На печи установлено 40 воздушных фурм диаметром 160 мм (предусмотрена возможность применения фурм диаметром от 140 до 180 мм) с высовом 360 мм.

Более высокий уровень воздушных фурм относительно оси чугунных леток положительно повлиял на устойчивость дутьевого режима, так как уменьшилась вероятность деформации фурменных

очагов при накоплении чугуна и шлака в горне. При этом создаются условия для работы с большей скоростью истечения дутья.

Углы наклона шахты и заплечиков способствуют лучшему проникновению газового потока к оси печи, что очень важно для печей с большим диаметром горна.

Охлаждение печи осуществляется технической водой, охлаждение дна лещади — воздушное. В распаре и шахте предусмотрено комбинированное охлаждение плитовыми холодильниками в сочетании с горизонтальными холодильниками, установленными во внутренних амбразурах. Вертикальные холодильники шахты верхнего ряда снабжены горизонтальными водоохлаждаемыми выступами, что создает сплошную опорную поверхность для опирания футеровки неохлаждаемой зоны шахты.

Защита колошника выполнена из литых стальных плит, образующих внутреннюю защитную стенку из металла. Защита купола также выполнена из литых стальных плит. Между кожухом купола и плитами предусмотрен слой из торкрет-массы.

Нижняя часть лещади выложена графитированными блоками, периферийная часть лещади и горн до уровня чугунных леток выполнены из углеродистых блоков, центральная часть лещади — из высокоглиноземистого кирпича, содержащего не менее 62 % глинозема. Район чугунных леток, верхняя часть горна, заплечики, распар и шахта в охлаждаемой зоне футерованы шамотным плотным кирпичом, содержащим не менее 41 % глинозема; неохлаждаемая часть шахты и колошник футерованы шамотом.

Кожух печи выполнен самонесущим с узким маратором (400 мм). Толщина кожуха в зонах лещади, горна, заплечиков, распара и охлаждаемой части шахты — 60 мм, в остальных зонах — 40 — 50 мм. Материал кожуха — сталь 16Г2АФ, улучшенная электрошлаковым переплавом.

Взятие печи на тягу осуществляется через футерованную трубу, отходящую от кольцевого воздухопровода горячего дутья.

Доменная печь оборудована бесконусным загрузочным устройством конструкции фирмы "Пауль Вюрт" с двумя весовыми бункерами объемом 80 м³ каждый для шихтовых материалов и вращающимся лотком с регулируемым углом наклона: от 16 до 44° по отношению к оси печи — при работе в автоматическом режиме, и от 0 до 90° — при управлении наклоном лотка дистанционно. Всего имеется 11 угловых положений:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8,0	17,0	23,2	29,1	32,0	34,7	37,4	39,8	42,0	43,8	45,2

При этом рабочими могут быть положения от 2 до 10, но положение 10 используется только в исключительных случаях для загрузки периферии печи. Положения 1 и 11 при выгрузке материалов не используются (не рабочие). Частота вращения лотка при высыпании материалов постоянна и составляет 8 мин^{-1} . Нижний шихтовой затвор промежуточного бункера имеет 7 положений. Максимальная пропускная способность загрузочного устройства по коксу — $0,8 \text{ м}^3/\text{с}$, средняя по шихте — $0,5 - 0,6 \text{ м}^3/\text{с}$.

При использовании данного загрузочного устройства могут быть обеспечены 4 варианта распределения материалов на колошнике: кольцевое, спиральное, секторное и точечное. Контроль и регистрация уровня засыпи шихты по периферии осуществляется четырьмя механическими зондами, расположенными через 90° в плане по диаметру 9400 мм и работающими в автоматическом режиме. Для контроля глубины центральной воронки используется дистанционно управляемый зонд, установленный по оси печи и входящий в поставку загрузочного устройства. Нулевая отметка отсчета уровня засыпи центрального зонда на 0,7 м ниже нулевой отметки периферийных зондов. На 7,5 м ниже нулевой отметки отсчета центрального зонда предусмотрена установка горизонтальных измерительных зондов.

Рабочий уровень засыпи шихты составляет $1,5 \pm 0,5$ м относительно нулевой отметки периферийных зондов (верхней границы цилиндрической части колошника — см. рис. 2.1). При опускании шихтовых материалов до рабочего уровня выдается сигнал на загрузку очередной по программе порции шихты.

Колошниковое устройство оборудовано лифтом и электромостовым краном грузоподъемностью 170/20 т.

Литейный двор в плане имеет форму правильного двадцатиугольника, под которым расположены четыре сквозных постановочных пути для передвижных миксеров номинальной вместимостью 600 т и два хозяйственных тупиковых; имеется также автовезд.

Главные желоба для выпуска чугуна имеют Г-образную форму. Число выпусков чугуна от 24 до 30 в сутки; кроме того, существует возможность одновременного выпуска чугуна из двух леток при независимой постановке передвижных миксеров с восточной и западной сторон цеха.

Рабочая площадка литейного двора позволяет применять напольный и автомобильный транспорт. Литейный двор оборудован тремя кольцевыми кранами грузоподъемностью 20/5 т с подъемно-поворотной консолью грузоподъемностью 5 т.

Для обслуживания фурм используется кольцевая площадка, защищенная над желобами водоохлаждаемыми плитами; имеются также

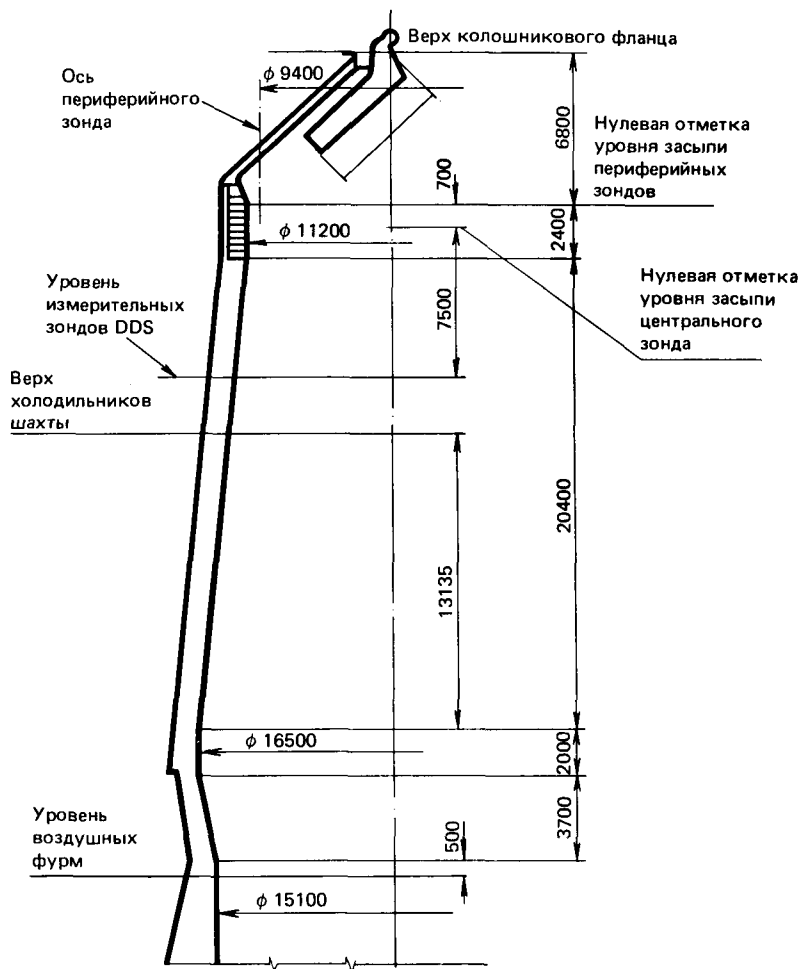


Рис. 2.1. Основные размеры рабочего пространства доменной печи № 5

удобные площадки для обслуживания шахты печи и исследовательского оборудования.

Вокруг печи установлены четыре внутренние круглые колонны литейного двора и специальный балкон для проведения ремонтных работ при замене кожуха печи. На литейном дворе предусмотрены укрытия для желобов и мест слива чугуна с отсосом выделяющихся газов и подача кондиционированного воздуха от приточной станции.

Дутье

Четыре воздушонагревателя с выносными камерами горения обеспечивают нагрев дутья; удельная поверхность нагрева равна $95,0 \text{ м}^2/\text{м}^3$ объема печи. Основные параметры дутья блока воздушонагревателей приведены ниже:

Температура нагрева дутья, $^{\circ}\text{C}$	900 – 1400
Максимальный расход дутья, $\text{м}^3/\text{мин}$	1100
Влажность дутья, $\text{г}/\text{м}^3$	≤ 50
Содержание кислорода в дутье, %	≤ 40
Давление дутья в фурмах, МПа.	0,4 – 0,5
Максимальная температура дыма, $^{\circ}\text{C}$	400
Полная поверхность нагрева, м^2	509904
Удельная поверхность нагрева, $\text{м}^2/\text{м}^3$	95
Расход воздуха горения на один воздушонагреватель, $\text{м}^3/\text{ч}$	250000
Расход смешанного газа на один воздушонагреватель, $\text{м}^3/\text{ч}$	160000

Насадка воздушонагревателя выложена шестигранными блоками вперевязку, футеровка выполнена в верхней части из динасовых огнеупоров, ниже — из высокоглиноземистых, каолиновых, шамотных огнеупоров. Форма купола принята аналогичной куполам воздушонагревателей доменной печи № 9 Криворожского металлургического комбината. В камере горения используется керамическая горелка с централизованной подачей воздуха горения, отопление воздушонагревателей производится смесью природного и доменного газов.

Блок воздушонагревателей может работать в трех технологических режимах: последовательном, попарно-параллельном, смешанном. При последовательном режиме на нагреве может быть использовано любое количество воздушонагревателей, но не менее двух. При этом на дутье всегда находится один, остальные — на нагреве и на

отделении. Температура дутья, поступающего в доменную печь, регулируется выбором соотношения количеств горячего дутья, выходящего из находящегося на дутье воздухонагревателя, и холодного дутья, поступающего по смесительному воздухопроводу. После остывания воздухонагревателя на дутье переводится очередной нагретый и только после этого остывший ставится на нагрев.

При попарно-параллельном режиме в течение всего дутьевого периода постоянно находятся два воздухонагревателя, циклы работы которых смещены во времени. Температура дутья регулируется соотношением количеств дутья, поступающих от более и менее нагретых воздухонагревателей. В переходных режимах предусмотрена стабилизация температуры горячего дутья добавлением холодного.

При смешанном режиме в течение дутьевого периода на дутье вначале находятся два воздухонагревателя — только что переведенный в это положение очередной нагретый воздухонагреватель и остывающий, который продолжает находиться на дутье вместе с вновь поставленным некоторое заданное время. Способ стабилизации температуры аналогичен способу при попарно-параллельном режиме. По истечении заданного времени остывший воздухонагреватель переводится на нагрев, на дутье остается только один воздухонагреватель и температура горячего дутья стабилизируется добавлением холодного.

На прямом воздухопроводе горячего дутья установлены компенсаторы, для охлаждения которых используются подводы холодного дутья. Подводы штуцеров горячего дутья к воздухопроводу выполнены снизу для лучшей стойкости "растрелов". Воздухопровод горячего дутья и штуцера футерованы большемерными огнеупорами, чем достигается повышение стойкости футеровки. Для клапанов, требующих охлаждения, используется техническая вода.

Блок воздухонагревателей имеет железобетонную дымовую трубу высотой 80 м и диаметром устья 5,1 м.

Доменный шлак

Весь доменный шлак гранулируется на двух придоменных грануляционных установках, при проектировании которых был использован опыт работы подобных установок Криворожского и Новолипецкого металлургических комбинатов. В состав каждой уста-

новки входят две технологические линии (рабочая и резервная), рассчитанные на прием всего количества шлака, поступающего от доменной печи.

Технологическая линия включает в себя: гранулятор новой конструкции, шлаковый эрлифт, обезвоживатель, систему оборотного водоснабжения, реагентное оборудование (узел приготовления известкового раствора), шламовое хозяйство. Установки придоменной грануляции работают в режиме доменной печи. Основные технологические показатели работы приведены ниже:

Общий выход шлака, тыс.т:	
суточный	5,0
годовой	1800
Количество выпусков шлака в сутки	20 — 24
Продолжительность выпуска, мин.	60
Максимальное количество шлака за выпуск, т	250 — 350
Удельный выход шлака, кг/т чугуна	250 — 307
Скорость слива шлака, т/мин:	
максимальная	10
средняя	5
Количество чугуна в шлаке, %	2,0

Жидкий шлак из доменной печи поступает на рабочую технологическую линию установки придоменной грануляции, где гранулируется под действием струй воды; смесь воды и гранулированного шлака поступает в приемный бункер, где происходит естественное загущение пульпы за счет оседания гранулированного шлака на дно. Из донной части приемного бункера загущенная пульпа поступает в камеру шлакового эрлифта и под действием вводимого в нижнюю часть эрлифта сжатого воздуха перекачивается в сепаратор, откуда пульпа самотеком сливается в обезвоживатель карусельного типа. Обезвоживатель имеет в своем составе 16 секций объемом 8 м³ каждая. Скорость обезвоживателя выбирается в зависимости от скорости наполнения секции (т.е. от скорости загрузки до определенного уровня) и устанавливается, как правило, постоянной для данного цикла отгрузки.

Гранулированный шлак с остаточной влажностью 10 — 15 % (для отдельных секций влажность может быть 20 % и более) выгружается из обезвоживателя в промежуточный бункер, а вода из водосборника отводится в приемный бункер технологической линии. Из промежуточного бункера гранулированный шлак через направляющую воронку и течи передается на ленточный конвейер и транспортируется на склад готовой продукции.

Установки придоменной грануляции работают в замкнутом цикле,

исключающем попадание вредных веществ в атмосферу и водный бассейн. Каждая установка имеет газоочистку, состоящую из двух скрубберов, установленных над бункерами-отстойниками, и общую вытяжную трубу высотой 100 м.

Доменный газ

Для первичной очистки доменного газа используется один пылеуловитель диаметром 17 м и высотой цилиндрической части 15 м. Пыль выпускается через три винтовые транспортера производительностью по 100 т/ч. Специальная установка для очистки выбросов из загрузочного устройства отсутствует. Газы продуваются в печь азотом, подаваемым от компрессора.

Установка тонкой очистки доменного газа включает скруббер высокого давления диаметром 9 м и высотой цилиндрической части 27 м, три регулируемые трубы – распылители Вентури, три каплеуловителя, устанавливаемых за трубами Вентури, дроссельную группу и размещаемый за ней каплеуловитель.

Бункерная эстакада

Бункерная эстакада (двухрядная надземная длиной 148 м) оснащена ленточными конвейерами для загрузки расходных бункеров (рис. 2.2, табл. 2.1).

Отсев мелочи и кокса, агломерата и окатышей осуществляется грохотами производительностью по 400 м³/ч. Кокс, агломерат и окатыши выдаются из весовых бункеров непосредственно на доменный конвейер по схеме: расходный бункер, три грохота, бункерные весы объемом 80 м³ с регулируемым затвором. Схемой управления механизмами системы загрузки предусматривается получение на доменном конвейере смеси агломерата и окатышей в любом соотношении, что позволяет улучшать распределение материалов на колошнике и увеличивает рудную нагрузку до 4,0 т/т кокса и выше.

Все весовые бункеры снабжены тензометрическими датчиками с точностью взвешивания $\pm 0,3$ %. Доменный конвейер подачи шихты на колошник шириной 2 м имеет производительность 2000 м³/ч, скорость движения ленты 2 м/с. Управление процессом загрузки доменной печи производится от ЭВМ с автоматической коррек-

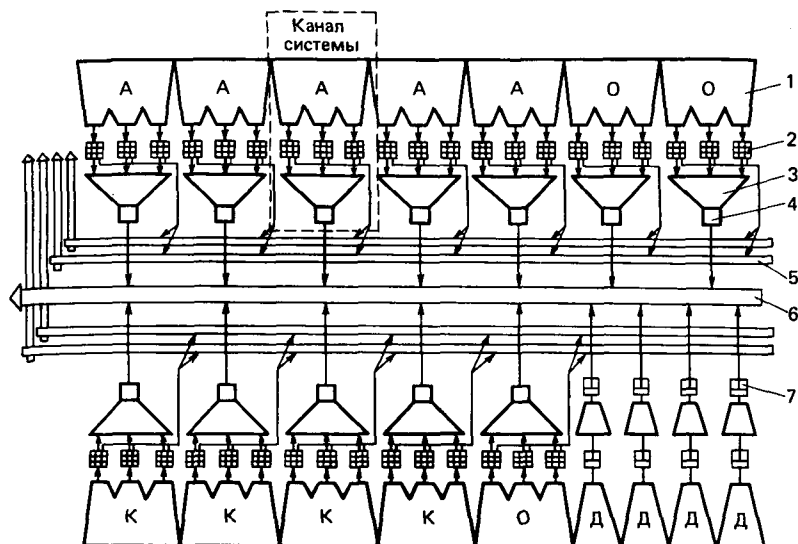


Рис. 2.2. Схема бункерной эстакады:

А — агломерат; Д — добавки; К — кокс; О — окатыши; 1 — приемные бункеры; 2 — грохоты; 3 — весовые бункеры; 4 — устройства управления процессом выпуска шихтовых материалов; 5 — конвейер некондиционных фракций; 6 — доменный конвейер; 7 — питатели

Т а б л и ц а 2.1. Техническая характеристика бункерной эстакады

Материал	Число расходных бункеров	Запас материала в часах работы печи	Характеристика бункерных весов каждого расходного бункера		
			число весов	полезный объем, м ³	максимальная масса материала, т
Кокс	4*	10	1	80	40
Агломерат офлюсованный . .	5	16	1	80	160
Окатыши офлюсованные. . .	3	32	1	80	160
Добавки двух видов	4	266	1	6,5	10

* Предусмотрена возможность использования одного коксового бункера для выдачи окатышей на доменный конвейер.

тировкой массы загружаемых в печь материалов в зависимости от влажности кокса, массы предыдущей дозы, содержания железа в агломерате и окатышах и основности шихты.

В составе бункерной эстакады имеется станция испытания сырья с автоматическим отбором проб от загружаемых в печь материалов. Необходимая информация о физико-химических свойствах компонентов шихты технологическому персоналу и в ЭВМ поступает к моменту загрузки их в доменную печь. Все технологическое оборудование эстакады закрыто кожухами и снабжено отсосами, подключенными к системе вытяжной вентиляции. Предусмотрен гидросмыв пыли и осыпи при мокрой уборке полов, а также применение напольных уборочных машин. Для приема пыли и осыпи, удаляемых из подбункерного помещения гидротранспортом, используется отстойник с насосной станцией, перекачивающей шламовые стоки в отделение их обезвоживания. Крупная осыпь вывозится автотранспортом.

Охрана окружающей среды

Доменная печь является уникальной не только по мощности, управлению технологическим процессом плавки, но и по сохранности окружающей среды. Сама печь и вспомогательные сооружения комплекса работают по замкнутому оборотному циклу водоснабжения; поступление сточных вод в естественные водоемы предотвращено.

Эффективные меры предусмотрены по защите воздушного бассейна. На рабочих площадках литейного двора при выпуске чугуна, в зоне загрузки печи и других местах, где по условиям производства образуются пыль и другие вредные выбросы, используются мощные вытяжные системы. Две самостоятельные центральные вытяжные станции производительностью по 2,2 млн.м³/ч с самостоятельными группами электрофильтров осуществляют очистку аспирационного воздуха перед выбросом в атмосферу.

Важное значение для охраны окружающей среды, а также экономного расходования ресурсов имеет безотходная технология производства чугуна. Отходы перешли в разряд вторичных ресурсов. Жидкий шлак, например, полностью гранулируется и является ценным сырьем для цементной промышленности.

Снабжение объектов доменной печи приточным воздухом выполняется центральной приточной станцией производительностью

4 млн.м³/ч. Приточный воздух очищается и подогревается, а для особо ответственных потребителей (например, вычислительных центров) проходит дополнительную подготовку в индивидуальных станциях кондиционирования.

2.2 АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ ДОМЕННЫМ ПРОЦЕССОМ

Доменная печь рассматривается в виде совокупности взаимосвязанных участков, агрегатов и технологического оборудования, обеспечивающих последовательное осуществление технологических процессов: формирование запасов шихтовых материалов в расходных бункерах; дозирование и формирование порций шихтовых материалов на доменном конвейере; загрузку шихтовых материалов в печь; нагрев комбинированного дутья и подачу его в печь; выплавку чугуна.

Технологическая структура производственного цикла доменной печи обусловила структуру автоматизированной системы управления технологическими процессами как распределенную систему управления.

Автоматизированная система управления технологическими процессами доменной печи является иерархической системой, в которой выделяются следующие функциональные уровни: автоматизированных подсистем управления; автоматического управления отдельными технологическими процессами; автоматического регулирования или стабилизации технологических параметров; автоматического контроля и ручного ввода информации.

Автоматизированная подсистема управления шихтоподачей осуществляет: автоматический контроль химического состава шихтовых материалов и их запасов в расходных бункерах бункерной эстакады; автоматическое управление процессом порционного дозирования (набор, хранение и выгрузка отдельных доз шихтовых материалов по каналам дозирования по заданной программе); адаптивную динамическую компенсацию контролируемых возмущений (коррекцию) при дозировании шихтовых материалов; автоматическое управление формированием порций шихтовых материалов по заданной программе.

Автоматизированная подсистема управления загрузкой доменной печи

реализует следующие функции: автоматический контроль фактического распределения на колошнике шихтовых материалов, загружаемых в печь по заданной программе, и состояния механизмов загрузочного устройства; автоматический контроль и управление газораспределением доменной печи, включая управление процессом отбора и подготовки проб газа к анализу.

Автоматизированная подсистема управления дутьевым режимом осуществляет: управление нагревом воздухонагревателей путем автоматического регулирования температуры купола, давления смешанного газа и соотношения природный — доменный газ с коррекцией по калорийности; поддержание заданных параметров дутья путем стабилизации температуры и влажности горячего дутья; автоматический контроль содержания кислорода в дутье.

Автоматизированная подсистема управления доменным процессом выполняет: автоматический сбор и представление информации о ходе процессов доменной плавки; управляемое отображение информации с использованием дисплейных модулей и печатающих устройств; автоматическое регулирование давления газа под колошником; автоматическое регулирование соотношения природный газ — холодное дутье с коррекцией по содержанию кислорода в дутье, а также распределение природного газа по фурмам, автоматический контроль содержания CO , CO_2 и H_2 в колошниковом газе и др.

Не имеющая аналогов в СССР автоматизированная система управления технологическими процессами доменной печи Череповецкого металлургического комбината базируется на широком использовании новейших приборов, миниЭВМ и микропроцессорной техники.

Комплекс технических средств, математическое, программное и организационное обеспечение разработаны с учетом максимального использования унифицированных решений для применения отдельных подсистем и их комплексов на других доменных печах.

В автоматизированной подсистеме управления шихтоподачей данные о текущем процентном содержании Fe , FeO , CaO , SiO_2 и MgO в агломерате или окатышах поступают со станции испытания сырья в систему автоматического контроля химического состава шихтовых материалов. Проба сырья отбирается из-под грохотов над соответствующим весовым бункером. После оценки достоверности полученных результатов химического анализа информация вводится в систему адаптивной динамической компенсации контролируемых возмущений при дозировании шихтовых материалов.

Массы входных и выходных потоков шихтовых материалов на бункерной эстакаде доменной печи, величины запаса каждого вида материала во времени, технологические параметры работы каналов дозирования определяются с помощью автоматического контроля запаса материалов. Взвешивание масс входных потоков каждого вида сырья, отсеянных грохотами мелких фракций рудной части шихты и кокса, осуществляется с помощью конвейерных весов фирмы "Шенк", ФРГ.

Фракционный состав материала в расходном бункере определяется по результатам анализа, выполняемого на станции испытания сырья, с использованием информации о массе отсеянных мелких фракций при наборе доз в весовых бункерах. Наряду с этим, с помощью микропроцессорной техники определяются эффективность грохочения каналов дозирования, производительность грохотов, интенсивность отсева мелких фракций материала. Одновременно осуществляется контроль изменения запаса каждого вида материалов.

АСУ весового дозирования

Автоматическое управление технологическим процессом порционного весового дозирования осуществляется по каждому (одному из дублированных) каналу дозирования. Структура каналов дозирования разных видов материалов одинакова, различия имеются в составе и характеристиках загружающего устройства (для кокса, рудных материалов и добавок). Это обязательство определило единую функционально-алгоритмическую структуру систем автоматического управления дозированием разных видов материалов.

Дозирование шихты реализуется с помощью автоматических систем на базе микропроцессорных комплексов. Управление соответствующим каналом дозирования производится по программе, определяемой технологическим заданием массы дозы, коррекциями задания и производительности, командой на выгрузку.

Управление процессом набора дозы происходит следующим образом: с заданным интервалом опроса измеряется текущая масса материала в весах; оценивается производительность набора; рассчитывается величина предварения дозы и определяется момент команды для включения загружающего устройства. При расчете предварения используется адаптивная модель процесса останова загружающего устройства, учитывающая как чистое запаздывание в

канале передачи управляющего воздействия, так и инерционность механического оборудования.

При управлении процессом выгрузки дозы с заданным интервалом опроса измеряется текущая масса материала в весах; оценивается производительность выгрузки (для агломерата производительность выгрузки поддерживается вблизи заданной с помощью электромагнитного регулятора расхода); определяется момент окончания выгрузки материала из весового бункера и выдается команда, разрешающая закрытие затвора.

Система автоматического управления дозированием материалов по набору и выгрузке дозы функционирует в одном из двух режимов — непосредственного цифрового управления или информационно-следящем. Фактический режим управления определяется состоянием работы оборудования и заданным режимом управления, устанавливаемым посредством специализированных позиционных устройств.

Точность набора отдельных доз находится в пределах $\pm 0,2 \%$ (от верхнего предела взвешивания). Кроме режимов управления дозированием, предусмотрен режим весопроверки, предназначенный для восстановления градуировочной зависимости тензометрического весоизмерителя путем сбора и обработки информации, получаемой при градуировочном эксперименте.

Автоматическая адаптивная динамическая компенсация контролируемых возмущений при дозировании шихтовых материалов осуществляется для каждого канала дозирования индивидуально или по всем каналам (многовязная коррекция). Реализация функций системы материализуется благодаря применению микропроцессорной техники. Существуют три контура расчета и реализации корректировок: контур 1 служит для компенсации ошибок дозирования материала тем же видом материала; контур 2 компенсирует ошибки дозирования и отклонений от заданных (опорных) значений показателей, характеризующих качество материалов; контур 3 предназначен для компенсации отклонений основности шихты от заданного расхода добавок.

Корректировка по контуру 1 проводится следующим образом. Ошибки дозирования материалов уменьшаются вследствие применения алгоритма релейно-экспоненциального сглаживания с последующим расчетом невязки. Полученная величина коррекции используется для следующей дозы материала, выгружаемого из

бункера, путем суммирования с величиной, определяющей технологическое задание.

Величина коррекции в контуре 2 складывается из нескольких составляющих: ошибок дозирования железосодержащих материалов и кокса; отклонений влажности кокса от опорного значения; отклонений содержания железа в железосодержащих материалах от опорных значений. Ошибки дозирования и отклонения показателей качества пересчитываются в масштабе кокса и используются для вычисления невязки по контуру 2 в технологическом цикле загрузки.

Под технологическим циклом загрузки подразумевается последовательность порции железорудного сырья и кокса, состоящая из заданного числа доз. Минимальный технологический цикл состоит из одной порции железорудных материалов (доза агломерата и доза окатышей) и одной порции (дозы) кокса. При превышении пороговой величины максимальной коррекции в единичном цикле образуются "остатки", которые затем ликвидируются путем корректировки кокса в последующем цикле.

В зависимости от выбранного режима коррекция контура 2 назначается полностью в первую дозу кокса (режим максимально быстрой коррекции) или делится равномерно по всем дозам кокса (если, разумеется, число доз в цикле больше одной). В любом случае корректировка кокса назначается на цикл, следующий за тем, для которого рассчитывалось эквивалентное возмущение. Величины коррекций кокса контуров 1 и 2 суммируются, результат сравнивается с величиной технологического задания соответствующей дозы кокса.

Контур 3 функционирует аналогично контуру 2. Для каждого вида материала, за исключением кокса, в контуре 3 определяется невязка в масштабе избытка (недостатка) количества основного оксида относительно опорной основности шихты, устанавливаемой технологическим персоналом. Избыток (недостаток) основного оксида пересчитывается в количестве добавки (известняка или руды) с учетом заданного числа доз добавок в цикле.

Фиксация отклонений фактических масс доз и влажности кокса от заданных значений осуществляется по каждому каналу дозирования: соответствующих доз — по окончании выгрузки их на конвейер; влажности кокса — в процессе набора материала в бункерные весы. Контроль отклонений фактического содержания железа в агломерате и окатышах от расчетных значений, а также

фактической основности шихты от опорного значения проводится по информации о химическом составе шихты.

Результаты анализа функционирования системы автоматической адаптивной динамической компенсации контролируемых возмущений при дозировании шихтовых материалов показали, что, например, среднее (за смену) значение отклонения фактической рудной нагрузки от заданной составляет 0,28 – 0,29 % (соответствует заданной точности стабилизации 0,3 %).

Основными функциями автоматической системы управления формированием порций шихтовых материалов являются: оценка готовности каналов дозирования к формированию порции; формирование и реализация программы выгрузки доз по времени и скорости с помощью систем автоматического управления дозированием; представление информации персоналу. Формирование смешанных рудных порций выполняется по программе, составляемой в зависимости от режима работы загрузочного устройства доменной печи, типа смешанной порции, распределения масс в головной и средней частях порции, программ работы каналов дозирования. Программное обеспечение реализовано с помощью микропроцессорного комплекса.

В общем случае смешанная рудная порция поступает на конвейер из двух каналов дозирования и имеет следующую структуру: головная часть агломерата, выдаваемая на конвейер каналом агломерата с максимальной производительностью; средняя часть из агломерата, окатышей, выдаваемых на конвейер соответствующими каналами с пониженной производительностью, причем окатыши должны быть укрыты агломератом.

Масса головной части задается технологом печи с помощью устройства ручного ввода информации. Требуемые изменения производительности выгрузки обеспечиваются электромагнитным регулятором загрузки. Управление заключается в определении момента выдачи команды на начало работы загрузающего устройства канала дозирования, формирующего очередную порцию, а также в расчете и пересылке данных о величине производительности выгрузки дозы агломерата в соответствующую систему автоматического управления дозированием. Момент выдачи команды зависит от расположения канала дозирования на конвейере и обеспеченности заданной "головы" порции.

В подсистеме управления загрузкой печи перемещение порций загружаемой шихты доменным конвейером непрерывно контро-

лируется и индицируется на мнемонических панно в постах управления шихтоподачи и доменной печи.

В качестве сигнализаторов вида (руда, кокс) и наличия материала используются радиоизотопные датчики, расположенные на конвейере в пяти контрольных точках. Первая контрольная точка находится перед приводной станцией конвейера, здесь определяется наличие материала шихты на конвейере и его вид. Согласно сигналам о наличии шихты в контрольных точках 2 — 5 создается последовательность автоматической работы механизмов загрузочного устройства. При выгрузке каждой порции шихты в печь автоматически контролируются следующие качественные характеристики процесса: массы порций материала и продолжительность их выгрузки в печь и на каждую угловую позицию распределительного лотка бесконусного загрузочного устройства; фактические углы наклона лотка на каждой позиции и открытия шихтового затвора при освобождении промежуточного бункера.

Алгоритм контроля предусматривает фиксацию временных характеристик механизмов бесконусного загрузочного устройства в последовательности их обработки, угловых положений лотка и шихтового затвора, а также массы материала, выгруженного на каждую позицию лотка.

Алгоритм реализуется следующим образом. При поступлении сигнала на загрузку печи, выдаваемого от механических зондов, фиксируется начало выгрузки и запоминается ее масса. Через 5 с после открытия шихтового затвора фиксируется фактическая величина его открытия. В процессе выгрузки порции шихты при поступлении команды на переход лотка на следующее заданное угловое положение запоминаются масса выгруженной части порции на заданной позиции лотка, время ее истечения из промежуточного бункера, фактическая величина угла наклона лотка (с выдержкой 5 с после остановки лотка), масса шихты, выгруженная на переходе, и время ее истечения. По сигналу "бункер пуст" (от весоизмерительного устройства) определяется общее время выгрузки порции, и информация поступает на печать и в системы верхнего уровня автоматизированной системы управления технологическим процессом доменной печи. При выгрузке последней порции в цикле выдаются обобщенные данные по циклу и показатели неравномерности загрузки по порциям.

В протоколе выгрузки отражаются параметры работы весового устройства промежуточного бункера, шихтового затвора, привода наклона распределительного лотка, распределение массы шихты по

позициям лотка и диагностические сообщения о выходе за установленные пределы контролируемых параметров работы бесконусного загрузочного устройства.

Технологическое обеспечение АСУ

Автоматизированная система управления газораспределением доменной печи предназначена для: автоматического контроля состава, температуры и статического давления газа по радиусам сечения верхней части шахты доменной печи ниже поверхности засыпи на 3,7 и 7,5 м; комплексного использования данных контроля газораспределения и температуры поверхности шихты (от термовизорной установки) для формирования управляющих воздействий по изменению загрузки шихтовых материалов.

Контроль параметров газораспределения по сечению в верхней части печи на 3,7 м под уровнем засыпи (разработана Ленгипромезом и ВНИИПИ САУ, СССР) реализуется четырьмя машинами для отбора проб газа и замера температуры, установленными по двум взаимно перпендикулярным диаметрам. Машина для отбора проб газа обеспечивает программную установку головной части зонда в контролируемых точках радиуса. Отбор проб газа и измерение его температуры проводится в период кратковременных остановок в точках измерения при извлечении зонда из центра шахты. Каждая машина функционирует под управлением автономного микропроцессорного комплекса.

В основе процесса контроля параметров газораспределения и температуры газа лежат циклические процедуры отбора проб газа, измерения температуры и газового анализа, осуществляемые аналогично на каждом из четырех радиусов.

Процедуры отбора проб газа в емкость и измерения температуры выполняются одновременно при остановке зонда в заданной точке и продолжаются фиксированное время. Отбор проб газа в емкость выполняется при срабатывании системы клапанов и включает следующие операции: отключение подачи азота в зонд; продувку импульсной линии и емкости газом из печи; наполнение емкости газом до заданного давления.

Газоаналитический комплекс состоит из кондуктометрического газоанализатора ТП 5501-1, предназначенного для измерения содержания H_2 , и оптико-акустического газоанализатора ГИАМ-5М

для определения концентраций CO , CO_2 . Измерение температуры осуществляется хромель-копелевой термопарой в процессе омывания газом ее рабочего спая. Результаты измерений химического состава газа и температуры обрабатываются микропроцессорным вычислительным комплексом.

Система автоматического контроля и управления газораспределением в шахте доменной печи, разработанная и поставленная фирмой "Сименс", предназначена для контроля химического состава (CO , CO_2 и H_2), температуры и статического давления газа в 10 точках каждого из двух радиусов, расположенных по одному диаметру на 7,5 м ниже уровня засыпи.

Использование информации о газораспределении, температуре поверхности шихты и других параметрах технологического процесса позволяет формировать управляющие воздействия по изменению загрузки материалов с помощью средств вычислительной техники. Данные распределения и использования газового потока в печи обобщаются и отображаются в виде динамических графиков, удобных для восприятия технологическим персоналом.

Основными партнерами фирмы "Сименс" при разработке системы автоматического контроля и управления газораспределением в шахте доменной печи являются: фирма "Данго и Диненталь Maschinenbau GmbH Зиген" (ФРГ) — в части горизонтальных измерительных зондов; фирма "Тиссен Шталь АГ" (ФРГ) — в области математических моделей управления газораспределением; форма представления информации разработана совместно фирмами "Сименс" и "Тиссен".

В качестве термовизорного устройства используется "Спиротерм" фирмы "Мессметаллургия" (ФРГ) [9]. Информация от "Спиротерма" вводится в ЭВМ системы автоматического контроля и управления газораспределением и используется технологическим персоналом для выявления резких отклонений от нормального хода доменной печи (например, канального хода) и оценки неравномерности распределения материалов и газового потока в целом по сечению печи на уровне засыпи.

Температура поверхности засыпи

"Спиротерм" состоит из измерительной головки со вспомогательным оборудованием; блока обработки и хранения информации и устройства отображения информации.

Измерительная головка (детектор инфракрасного излучения и механизм сканирования, закрытые герметичным корпусом) установлена на переходном конусе колошника доменной печи, она может быть полностью изолирована от атмосферы доменной печи с помощью отсекающего шибер — специальной задвижки с пневматическим управлением. Детектор инфракрасного излучения (датчик) защищен сапфировым иллюминатором. Во избежание попа-

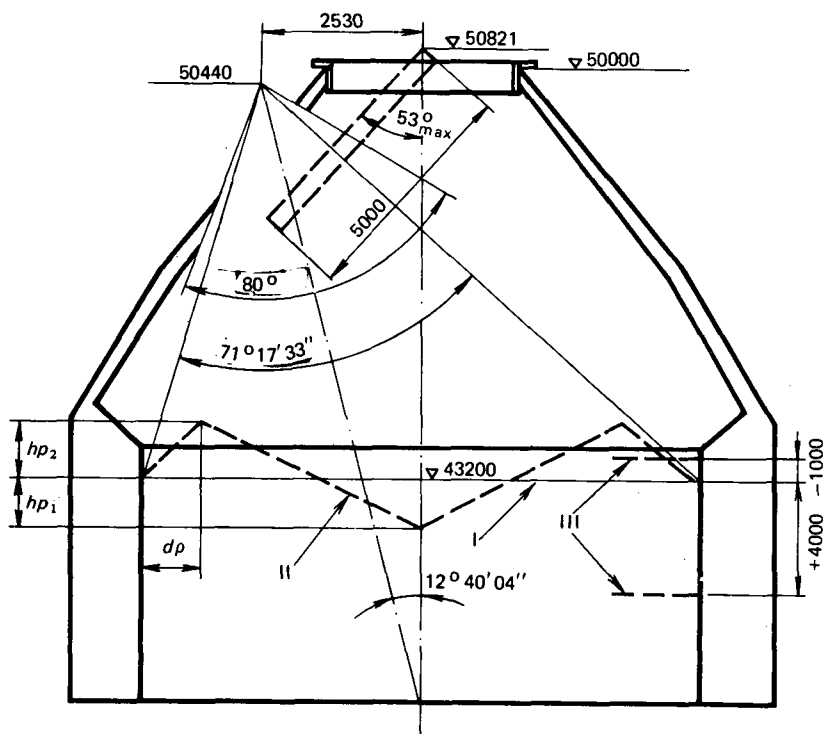


Рис. 2.3. Схема привязки измерительной головки "Спиротерма" на куполе доменной печи:

I — проектный уровень засыпки шихты; *II* — возможный М-В-образный уровень засыпки; *III* — уровень засыпки шихты на периферии, контролируемые зондами; $dp = 0 \div 2,0$ м — расстояние от гребня (впадины) до периферии (защитных плит колошника); $hp_1 = (-0,5) \div (+1,5)$ м — глубина ямы (выступа) по оси печи относительно уровня шихты на периферии; $hp_2 = (-0,5) \div (+1,0)$ м — высота гребня (впадины) относительно уровня шихты по периферии

дания пыли на иллюминатор через визирное отверстие измерительной головки постоянно продувается защитный газ (азот) с давлением, превышающим давление в печи. Во время остановки и тихого хода шибер закрывается автоматически и отделяет измерительную головку от атмосферы печи. Схема привязки измерительной головки на куполе печи приведена на рис. 2.3.

Температура поверхности засыпи в диапазоне 40–900 °С измеряется с помощью механизма сканирования по двум спиралям: от периферии к центру и от центра к периферии. Направление вращения не изменяется, длительность одного замера температур — 20 с. Условия работы головки (температура, целосность иллюминатора и др.), контролируются специальными блоками.

Вспомогательное оборудование для управления отсекающим шибером и подачей защитного газа в головку смонтировано в специальном помещении на колошниковой площадке доменной печи.

Блок обработки и хранения информации включает в себя микро-ЭВМ с внешним запоминающим устройством, алгоритмическое и программное обеспечение. Блок установлен в машинном зале УВМ здания управления доменной печью.

Результаты обработки информации выдаются на устройство отображения и печать. Устройство отображения информации представляет собой цветной дисплей, установленный в помещении центрального пункта управления. На экране отображающего устройства может быть получено четыре вида информации.

1. Радиальное распределение температур — отклонение температуры в десятикольцевых зонах равной ширины от средней температуры поверхности шихты (рис. 2.4).
2. Диаметральное распределение температур — температура в сорока точках по двум взаимно перпендикулярным диаметрам (20 точек на каждом из диаметров). Ориентация диаметров по окружности относительно оси установки измерительной головки может ступенчато изменяться от 0 до 90° с шагом 10° (рис. 2.5).
3. Периферийное распределение температур — отклонение температуры в 42-х равновеликих участках периферийной кольцевой зоны от средней температуры периферии. Участки центрированы по осям соответствующих воздушных фурм (рис. 2.6).
4. Температурное поле — карта распределения температур по по-

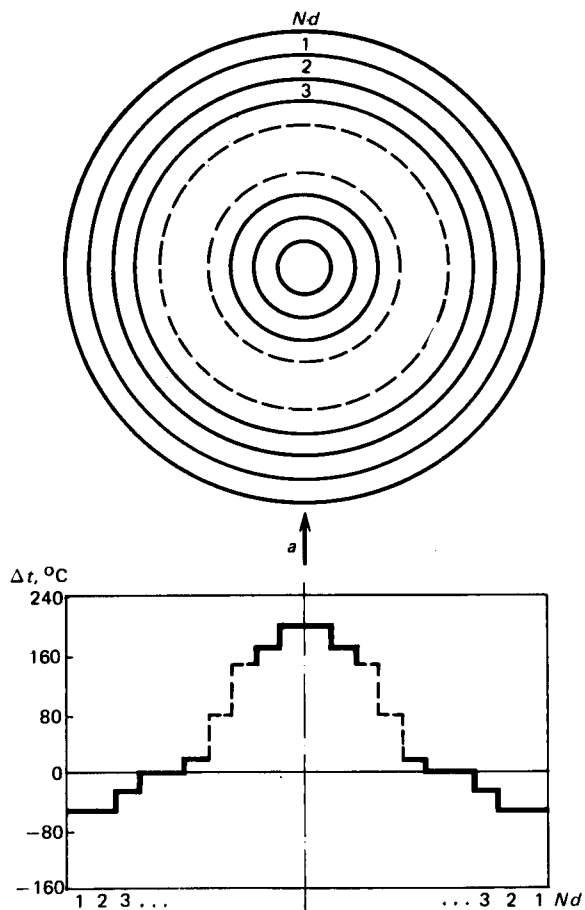


Рис. 2.4. Распределение относительной температуры (Δt) по радиусу печи ($t = 214^{\circ}\text{C}$):
 a — измерительная головка

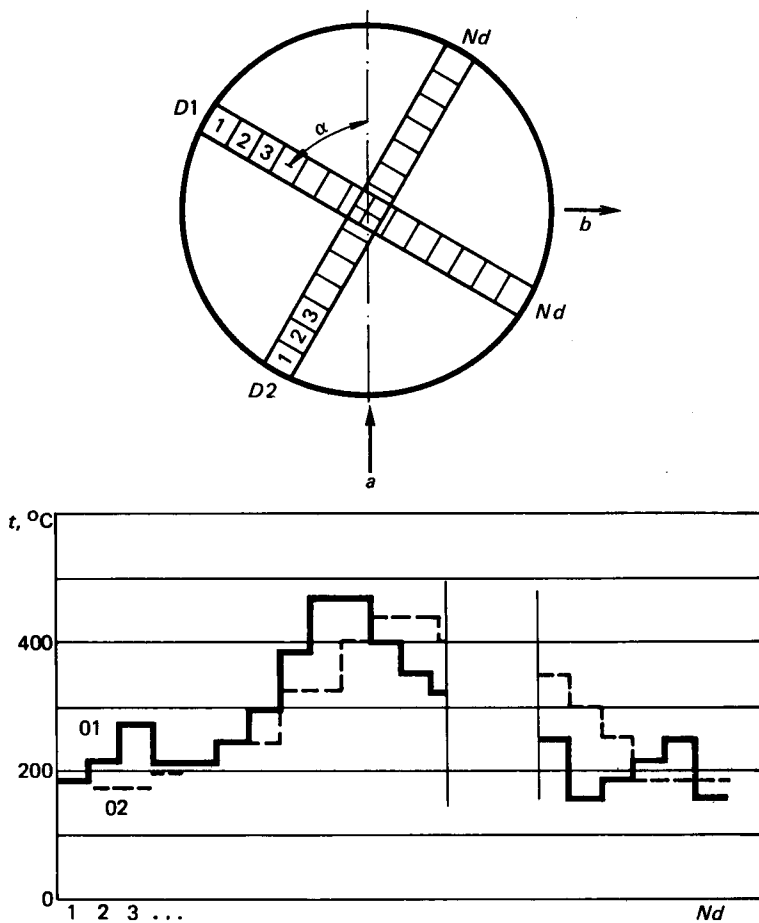


Рис. 2.5. Распределение температуры по двум произвольным взаимно перпендикулярным диаметрам колошника:
a — измерительная головка; *b* — чугунная летка

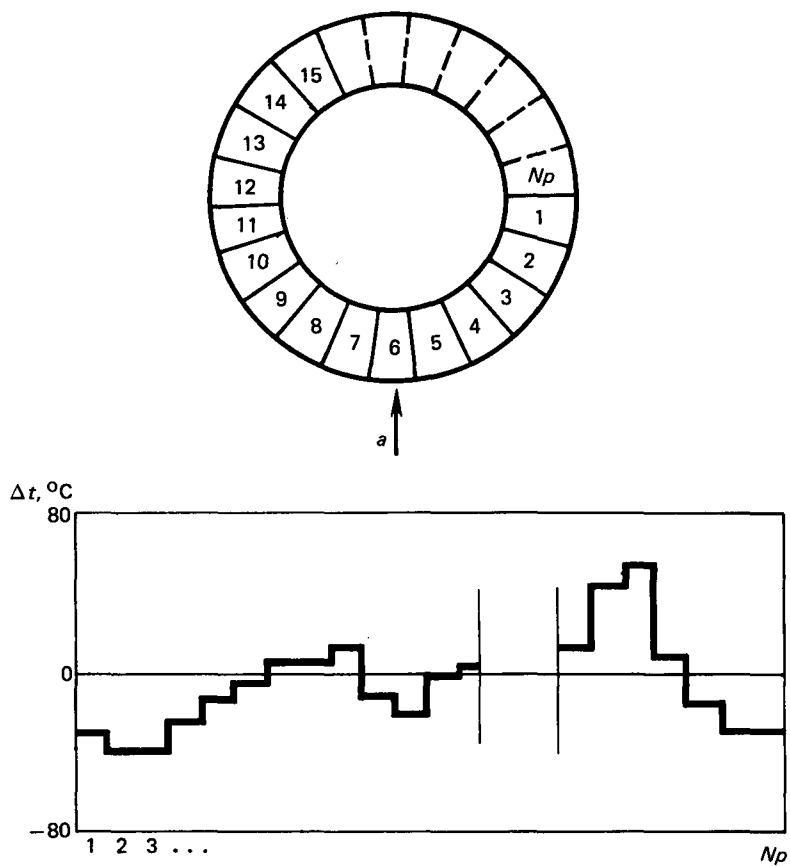


Рис. 2.6. Распределение относительной температуры по периферии печи ($t = 152^\circ C$):

a — измерительная головка

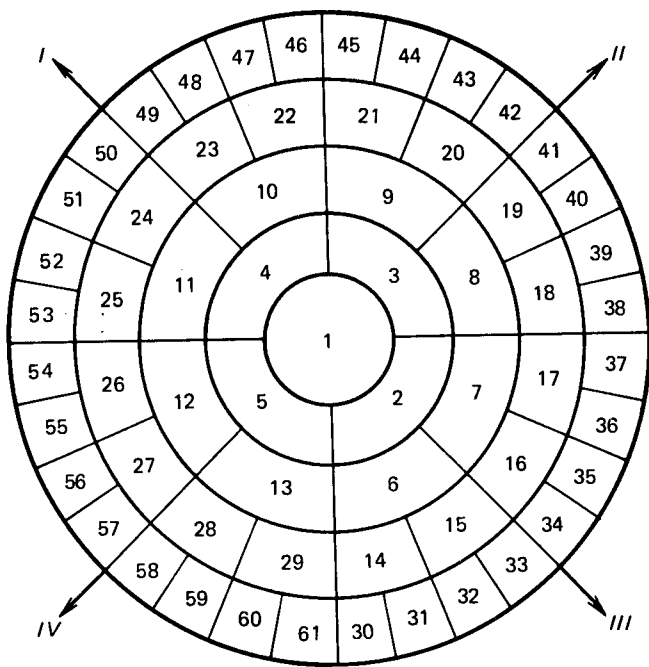


Рис. 2.7. Схема расположения равновеликих зон (I – 61) на поверхности засыпи:
I – IV – чугунные летки

верхности засыпи. Поверхность засыпи колошника разделена на равновеликие зоны, число которых равно 61 (рис. 2.7).

Виды информации, приведенные в пунктах 1–3, выдаются на экран в виде графиков поочередно или по требованию, одновременно.

Температурная шкала для диаметрального распределения приводится на экране в абсолютных единицах, шкала для радиального и периферийного распределения – в относительных единицах от средней температуры поверхности засыпи. Температурное поле на экране отображающего устройства индицируется как температура в каждой из 61 зон (рис. 2.8), при этом в зависимости от температуры меняется цвет отдельных зон поверхности.

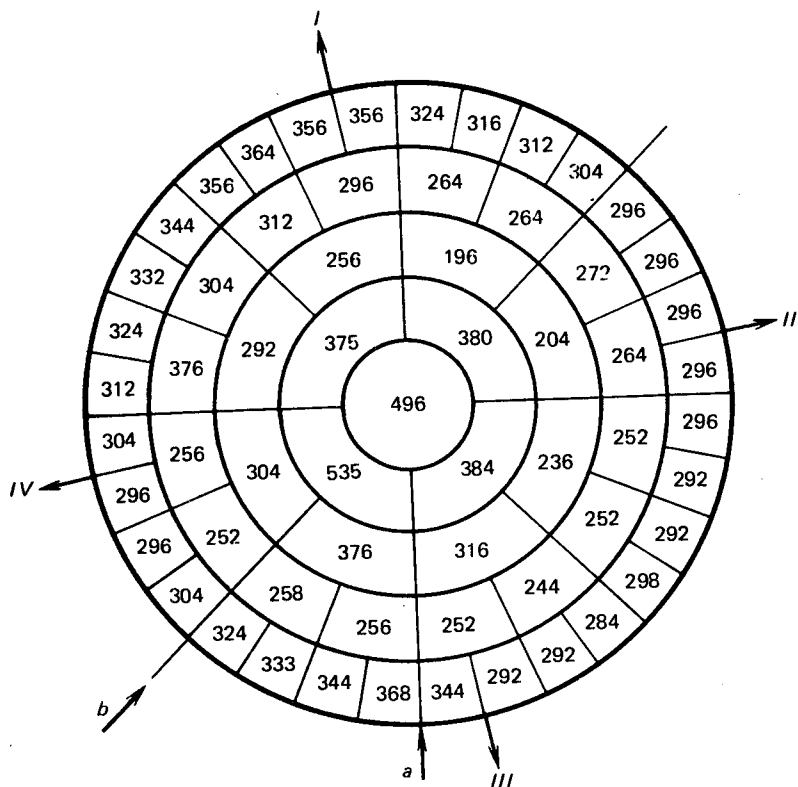


Рис. 2.8. Карта распределения температуры поверхности засыпи по зонам, $^{\circ}\text{C}$:
 I – IV – чугунные летки; a – измерительная головка; b – главный конвейер

Блок обработки информации усредняет и запоминает все данные о температурном распределении поверхности засыпи шихты, готовит их к выдаче на отображающее устройство и на печать. Ниже приведен протокол контроля температуры поверхности засыпи:

DATE:	4	28	85						
HOUR:	11	7	4						
MEAN BURDEN TEMP.									
231									
MEAN PERIPHERAL TEMP.									
252									
MEAN TEMP. OF MAP AREAS									
617	405	252	285	438	146	146	146	146	245
172	166	166	46	46	92	119	192	225	258
278	318	325	272	252	166	146	119	92	172
166	166	172	205	245	252	245	258	232	225
245	258	278	312	325	305	298	278	258	252
252	278	298	272	285	272	232	225	205	205
192									
MEAN TEMP. OF PERIPH. AREAS									
66	80	66	53	40	20	0	-20	-20	-27
- 27	- 27	0	13	0	-7	-20	-40	-53	-40
- 53	- 27	-27	-7	0	0	0	0	0	13
13	0	-7	-7	-20	- 20	-7	13	33	53
MEAN TEMP. OF RADIAL AREAS									
- 32	14	14	14	-52	- 72	-52	67	286	419
DIAM. ORIENT.									
0									
MEAN TEMP. ALONG DIAM. 1									
****	318	332	371	225	212	225	245	332	650
650	644	378	179	99	46	46	99	252	185
MEAN TEMP. ALONG DIAM. 2									
****	265	338	245	179	159	179	232	491	650
650	498	225	159	132	132	199	292	225	****

Выдача средних значений осуществляется за один из следующих временных интервалов: 1, 2, 4, 8, 24 ч (по требованию).

Технические средства контроля

В автоматизированной подсистеме управления доменным процессом непрерывному автоматическому контролю подлежат разнообразные технологические параметры: концентрация CO , CO_2 и H_2 и температура колошникового газа; давления горячего дутья в рабочем пространстве печи на нескольких горизонтах; температуры охлаждающей воды, кладки шахты, низа печи и др. В процессе выпуска чугуна измеряется его температура и определяется химический состав чугуна и шлака.

С помощью системы автоматического контроля осуществляется учет количества шлака (в пересчете на сухой гранулированный шлак), получаемого в результате технологического процесса доменной плавки. Данные о фактическом удельном выходе шлака используются с целью повышения качества и количества выплавляемого чугуна путем оптимизации технологического процесса доменной плавки.

Системы автоматического регулирования стабилизируют давление газа под колошником, соотношение природный газ — холодное дутье с коррекцией по содержанию кислорода в дутье, распределение природного газа по фурмам и др.

В составе технических средств контроля наряду с традиционными имеются новые разработки: радиоизотопные измерители уровня шихтовых материалов в расходных бункерах, датчики вида материалов, взаимного расположения и перемещений порций шихты на доменном конвейере; устройства регистрации исполнения программы загрузки материалов в доменную печь; приборы контроля качества леточной массы, подаваемой электропущками, при закрытии чугунных леток; бесконтактные измерители температуры куполов воздухонагревателей; нейтронные приборы контроля уровня и влажности гранулированного шлака, газоаналитические системы содержания кислорода в дутье, состава колошникового газа и др.

В основные функции системы анализа колошникового газа входят отбор, транспортирование и преобразование газовой пробы с последующим измерением содержания CO , CO_2 методом инфракрасного поглощения и H_2 — термокондуктометрическим методом.

Новой разработкой является система автоматического обнаружения повреждения воздушных фурм доменной печи путем сравнения расходов воды в напорных и сливных трубопроводах. В случае

прогара фурмы расход воды в напорном трубопроводе превышает расход воды в сливном трубопроводе. Измерение расходов воды осуществляется индукционными расходомерами, сигналы которых поступают в миниЭВМ. Опрос расходомеров воды происходит в циклическом режиме. Обработка информации в ЭВМ проводится с помощью статистического алгоритма.

В случае обнаружения разности расходов в напорном и сливном трубопроводах фурмы, величина которой превышает случайные ошибки измерений, фиксируется повреждение и по команде ЭВМ включается аварийная сигнализация на литейном дворе и в помещении центрального пункта управления доменной печи. Результаты контроля отображаются на экране терминала и регистрируются с помощью принтера.

Важной стороной функционирования системы автоматического обнаружения повреждения воздушных фурм является определение тепловых нагрузок на фурмы и выдача данных о тепловом состоянии печи в районе фурменной зоны. Тепловые нагрузки рассчитываются на основании измерений расходов и перепадов температур воды, поступающей на охлаждение фурм.

В качестве миниЭВМ используется вычислительный терминал на базе СМ1634.

Системы связи с объектом и цифровой индикации осуществляют сбор, предварительную обработку технологических сигналов и сигналов состояния объектов комплекса и передачу их в систему верхнего уровня управления доменной печью. Эти системы представлены двумя устройствами связи с объектом и пятью устройствами цифровой индикации, реализованных на отдельных микропроцессорных вычислительных комплексах "Микродат". Составы модулей ввода-вывода вычислительных комплексов ориентированы на объект контроля в зависимости от количества и типа входных и выходных сигналов.

Особое внимание было уделено проблеме повышения качества и объема полезной информации о входных и выходных переменных величинах.

Наряду с датчиками со встроенными метрологическими блоками используются вторичные измерительные преобразователи с гибким высокоточным переходом от исходных динамических сигналов к оценкам их параметров, необходимых для успешного решения задач контроля, регулирования и исследования. При алгоритми-

зации и аппаратно-программной реализации такого перехода опирались на научные идеи и методы изучения фундаментальных явлений типа эффекта подмены (наложения) частот при дискретизации аналоговых динамических сигналов и прореживании (децимации) цифровых динамических сигналов и колебаний Гиббса в конечном спектральном представлении реализаций динамических сигналов.

Благодаря существенным качественным особенностям помехозащищенной обработки динамических сигналов получена высокая точность оценки параметров (выборочных данных, скользящих средних, производных, спектральных коэффициентов и др.).

Верхний уровень автоматизированной системы управления технологическими процессами доменной печи включает в себя три подсистемы: формирования и представления отчетной информации; формирования, выдачи и регистрации предупредительных сообщений; управляемого отображения информации.

Первая подсистема предназначена для формирования и представления технологическому персоналу отчетной информации (в виде печного журнала, суточного рапорта и справочных данных на экранах дисплеев) о ходе процесса и состоянии оборудования за смену, сутки и с начала месяца.

Вторая подсистема осуществляет контроль и анализ отклонений от нормального состояния технологического процесса и вывод предупредительных сообщений о предаварийной ситуации.

Третья подсистема реализует обеспечение персонала оперативной информацией в виде: технологической карты состояния процесса, непрерывно выводимой на экран цветного графического терминала; видеограмм (44 варианта) совмещенного графического представления изменений технологических параметров за последние 24 ч работы печи и лучевых многоугольных видеограмм взаимных отклонений технологических параметров от опорных значений, которые выводятся на экраны терминалов в диалоговом режиме.

Система верхнего уровня управления позволяет технологическому персоналу анализировать качественные и количественные показатели хода печи, выпуска чугуна, расхода руды и кокса, а также предотвращать возможные возникновения аварийной ситуации в доменном процессе.

Вследствие накопления разнообразной измерительной информации появилась возможность реализовать автоматизированную систему

исследований, которая предназначена для решения следующих задач: сбора, обработки, накопления и анализа экспериментальных и статистических данных о ходе технологических процессов и работе оборудования; исследования сравнительной эффективности вновь разрабатываемых алгоритмов контроля, управления и представления информации; включения в промышленное освоение новых моделей и алгоритмов в условиях действующей АСУ. С помощью системы, например, проводится расчет материальных и тепловых балансов.

Материальный и тепловой балансы

Благодаря периодическому составлению балансов проявляются особенности работы печи в данных условиях, что позволяет прогнозировать развитие исследований. Баланс является статистической характеристикой динамического процесса. Составленный по усредненным данным за длительный период работы печи он характеризует распределение массы материалов и тепла в установившихся режимах. Сравнение балансов различных установившихся режимов позволяет изучать особенности процесса и прогнозировать характер его протекания при изменении условий.

Модель расчета материального и теплового балансов строится в виде линейных уравнений, в которых искомыми величинами являются полные производные выходных параметров (показатели плавки) по входным факторам (аргументам), а коэффициентами и свободными членами — частные производные, характеризующие связи между различными параметрами процесса. Полные производные ограниченного числа основных выходных функций по входным факторам, определяемые в базовом режиме, характеризуют их влияние на показатели плавки в линейном приближении. В качестве основных выходных функций в модели приняты относительная производительность печи, удельный расход кокса и степень прямого восстановления железа. В качестве аргументов в расчете используются 12 величин: расход вдуваемого топлива, содержание кислорода в дутье, температура и влажность дутья, заданные содержания кремния и марганца в чугуне, основность шлака, расход сырого флюса и др.

Определение разницы между фактическими и расчетными значениями компонент (выходы чугуна, шлака, колошникового газа и расхода дутья), так называемые невязки балансов, позволяет оценивать в оперативном режиме достоверность исходных данных

и путем анализа динамических невязок выявить характерные особенности технологического процесса доменной плавки.

Техническое обеспечение АСУ

Техническое обеспечение автоматизированной системы управления доменным процессом представляет собой комплекс средств автоматизации, специализированных и универсальных устройств сбора, обработки, представления информации и выдачи управляющих воздействий на базе микропроцессорной и вычислительной техники.

Применяемые средства на базе микропроцессорной техники типа "Микродат" реализуют информационные и управляющие функции.

К о н т р о л ь: сбор, хранение, обработку данных о технологическом объекте управления; отображение, сигнализацию и регистрацию технологических параметров, их отклонений от заданных значений, а также срабатываний защитных устройств с целью оценки диагностирования и прогнозирования технологических процессов, состояния оборудования и эксплуатационных показателей функционирования объекта.

У п р а в л е н и е: сбор и обработку, входной информации, формирование и выдачу управляющих воздействий, направленных на стабилизацию отдельных параметров технологического процесса; управление дискретными исполнительными устройствами по программам, модифицируемым в зависимости от текущего состояния технологического оборудования; отображение технологической информации и результатов диалога персонала с системой; передачу информации; подготовку данных и реализацию протоколов обмена со смежными (рассредоточенными и удаленными) системами и вышестоящим уровнем.

С помощью управляющего вычислительного комплекса СМ-2М (рис. 2.9) решаются задачи: управления тепловым состоянием доменной печи, работой воздухонагревателей и отображением информации на цветных дисплеях, формирования и представления отчетной информации и выдачи предупреждающих сообщений, расчета материального и теплового балансов и др.

В структуре вычислительной сети АСУТП доменной печи можно выделить следующие компоненты: локальные сети доменной печи и шихтоподачи; вычислительные комплексы на базе УВК СМ-2М, подключенные к локальным сетям.



Рис. 2.9. Центральный машинный зал

Информация от автоматических датчиков поступает к абонентам (в локальные системы контроля, диагностики и регулирования технологических параметров), выполненные на базе микропроцессорных устройств. Для организации связи между локальными системами и УВК используются координаторы.

Управление технологическими процессами и связанный с ним контроль технологических параметров и состояния оборудования сосредоточены в центральном пункте управления доменной печью.

Состояние процесса и оборудования отображаются на мнемоническом панно: информация о величине основных технологических параметров в цифровом виде представлена на специальных индикаторах; положение регулирующих органов — на приборах со световыми указателями; положение запорной арматуры и состояние технологического оборудования — на световых табло (рис. 2.10). Одна из секций панно состоит из световых табло, которые осуществляют технологическую и производственную сигнализацию. В составе мнемосхемы имеется индикатор вида, размера и положения порций шитовых материалов на конвейере подачи шихты на колошник.

Оперативное управление выполняется с пульта автоматики, установленного перед панно. На столешницах пульта размещены органы управления технологическим оборудованием и контурами регулирования и стабилизации технологического процесса. На этом же пульте на приборных приставках установлены вторичные приборы (в основном самопишущие) для регистрации значений технологических параметров. Распределение приборов и органов управления координировано с мнемосхемой панно и соответствует технологическому циклу.

Диалог технологического персонала с информационной подсистемой АСУ осуществляется с технологического пульта (непосредственное рабочее место управления доменной печью); пульт сопряжен с комплексом управляемого отображения информации и печатающими устройствами, расположенными рядом. Кроме того, на технологическом пульте управления доменной печью сконцентрированы средства промышленной связи, необходимые персоналу для общения с другими технологическими участками производства и управления телевизионными установками, которыми оснащен комплекс доменной печи.

Устройства контроля и управления, обеспечивающие выполнение комплексом шихтоподачи заданного цикла загрузки, расположены в отдельном пункте управления в здании шихтоподачи.



Рис. 2.10. Центральный пост управления доменной печью

2.3 АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ

В состав системы автоматического контроля и управления газораспределением фирмы "Сименс" входит следующее оборудование: два горизонтальных измерительных зонда с устройствами управления; система газового анализа; управляющая вычислительная машина с техническими средствами для обработки результатов измерений и представления информации технологическому персоналу.

Зонды фирмы "Данго и Диненталь Зиген" разработаны специально для проведения измерений в шахте доменной печи (рис. 2.11); с их помощью выполняются анализ химического состава и одновременно измерение температуры и статического давления газа. На

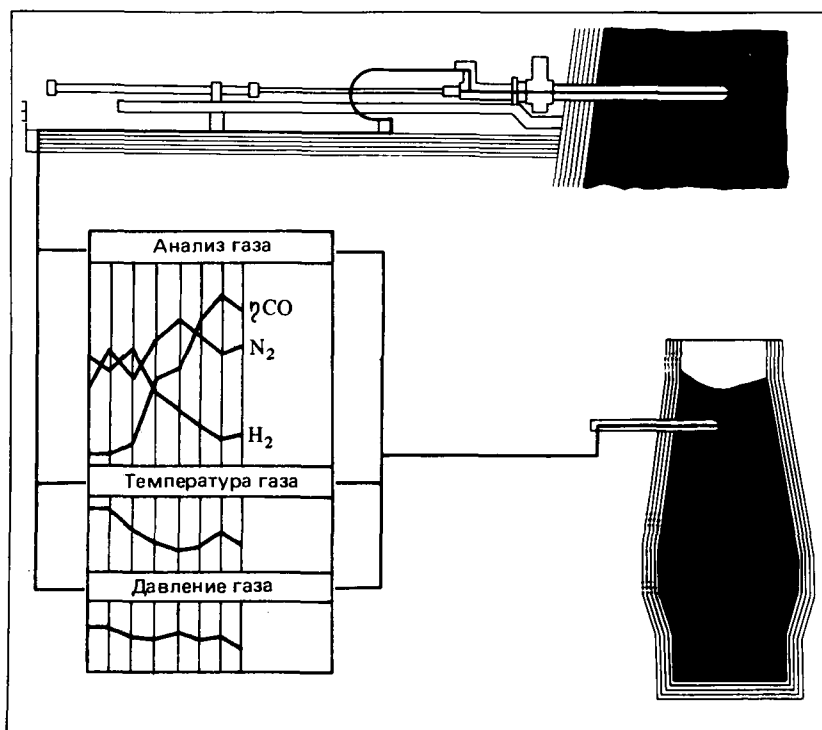


Рис. 2.11. Функции измерительных зондов

печах большого объема применяются зонды типа Ну-210/425 и Ну-210/550 с овальными трубами, рассчитанными таким образом, чтобы они выдерживали возникающие нагрузки без повреждений (рис. 2.12 и 2.13).

Зонды имеют водяное охлаждение и располагаются ниже уровня засыпи шихты в зоне с примерно постоянной температурой газа, где поток газа проходит относительно параллельно стенкам шахты, что повышает достоверность полученных результатов. На более высоких горизонтах появляются поперечные потоки газа по направлению от периферийной к осевой зоне печи, определяемые в основном профилем засыпи (рис. 2.14). В этих зонах температура восходящих газов значительно понижается за счет нагрева шихты (рис. 2.15).

Измеренные в газовом пространстве выше уровня засыпи величины



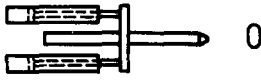
Тип	Символ	Сечение зонда, мм	Усилие перемещения, кН	Скорость перемещения, м/мин
Sp-267		φ 267	350	1,5
Ну-267			360	2,8
Ну-210/550		Ширина 210 Высота 550	550	2,8

Рис. 2.12. Типы измерительных зондов

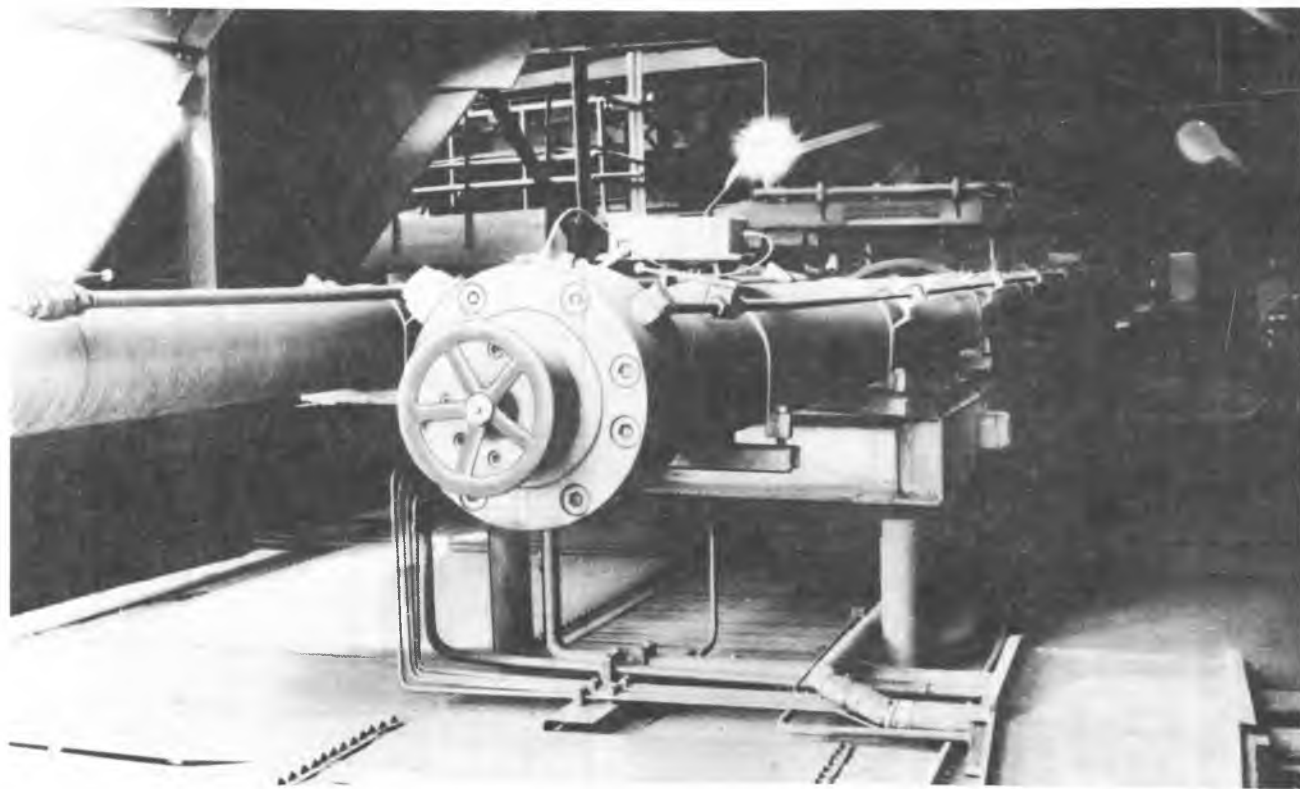


Рис. 2.13. Общий вид зонда на печи

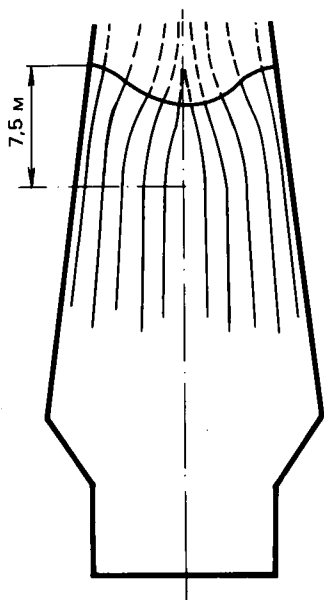


Рис. 2.14. Газовый поток в печи

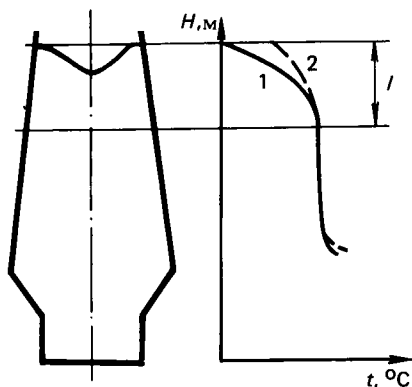


Рис. 2.15. Распределение температуры шихты (1) и газа (2) в зоне нагрева (I) печи

неточно воспроизводят распределение газа по сечению шахты печи. Характер возможных отклонений представлен температурными кривыми на рис. 2.16.

Кривая 1 показывает распределение температуры по радиусу печи в газовом пространстве над шихтой. Действительное распределение температуры под уровнем засыпи воспроизводит кривая 2.

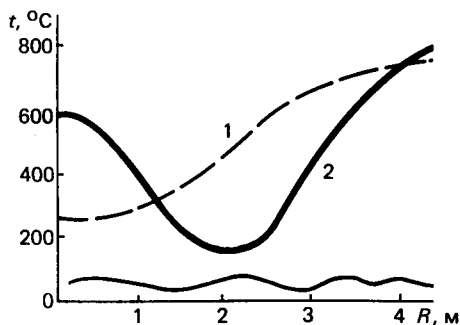


Рис. 2.16. Распределение по радиусу печи температуры, измеренной с помощью поверхностного (1) и проникающего (2) зондов

На доменной печи используются зонды типа Ну-210/550 с мощностью гидравлического привода 55 т, установленные на отметке 35700 мм (ось зондов) в штуцерах с внутренним диаметром 740 мм. Амбразуры для пропуска зондов в огнеупорной кладке выполнены в виде арки. Зонды размещаются на площадках печи на отметке 34400 мм. Площадки расположены от кожуха печи до периферии литейного двора за пределами кровли и ветроотбойных щитов. В непосредственной близости от зондов, на тех же площадках размещаются местные пульты управления зондами, шкафы пневматики и шкафы отбора — первичной подготовки доменного газа. В хвостовой части измерительных зондов располагаются помещения гидравлики.

Измерение параметров газа, выполняется в 10 точках по каждому из двух радиусов. Выбор точек в режиме автоматического измерения производится по одному из двух возможных вариантов: в центрах тяжести равновеликих площадей кольцевых зон, либо на границах кольцевых зон одинаковой ширины. В процессе раздувки печи, а также при отклонениях от нормального хода доменного процесса измерения выполняются приблизительно каждые 2 ч; при установившемся режиме 1—2 раза в смену.

Для измерения температуры и давления, а также для отбора пробы газа в одной точке затраты времени составляют не более 5 мин, в течение которых открывается газовый канал, и термoeлемент оказывается непосредственно в газовом потоке. Необходимое для анализа количество газа отбирается в конце измерения, что гарантирует очистку системы от оставшегося газа, взятого в процессе предшествующего измерения.

Процесс измерения полностью автоматизирован. Зонд выдвигается до оси печи и сразу же убирается назад приблизительно на 100 мм. В образовавшееся пространство тотчас же выдвигается находящаяся внутри зонда штанга, открывающая газовый канал, и происходит первое измерение. Затем зонд отводится назад в следующее положение; после окончания последнего измерения рабочий наконечник зонда убирается в нишу кладки печи (гаражное положение).

Имеется возможность подачи зонда в любую точку измерения. Во избежание засорения газового канала содержащейся в газе пылью после завершения каждого цикла измерения канал в течение 5 мин продувается азотом. При неисправности системы охлаждения автоматически или перед осадкой шихты по команде из центрального поста управления зонды выводятся из печи.

В независимых гидросистемах применяются минеральное масло высокой хладостойкости производства МОБИЛ АЭРО ХФА, либо его аналоги. В качестве гидроприводов используются устройства с гидравлическими цилиндрами диаметром 250/180 мм и ходом поршня 10000 мм.

Управление измерительными зондами и системой газового анализа осуществляется с помощью свободно программируемых контроллеров SIMATIC-S5 фирмы "Сименс". Имеется возможность дистанционного перемещения зонда с площадки на отметке 34400 мм или с центрального поста управления; световое табло поста по-

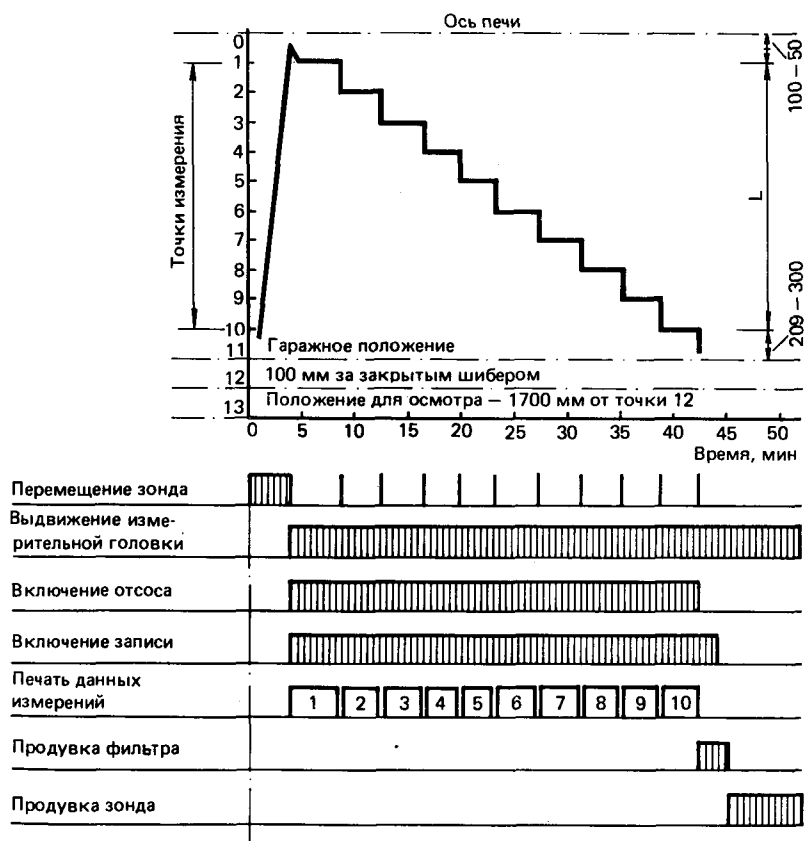


Рис. 2.17. График процесса измерения параметров газораспределения

звolyет контролировать перемещение зонда при измерении газораспределения.

На рис. 2.17 приведен график (программа) процесса измерения параметров газораспределения. По команде с центрального поста

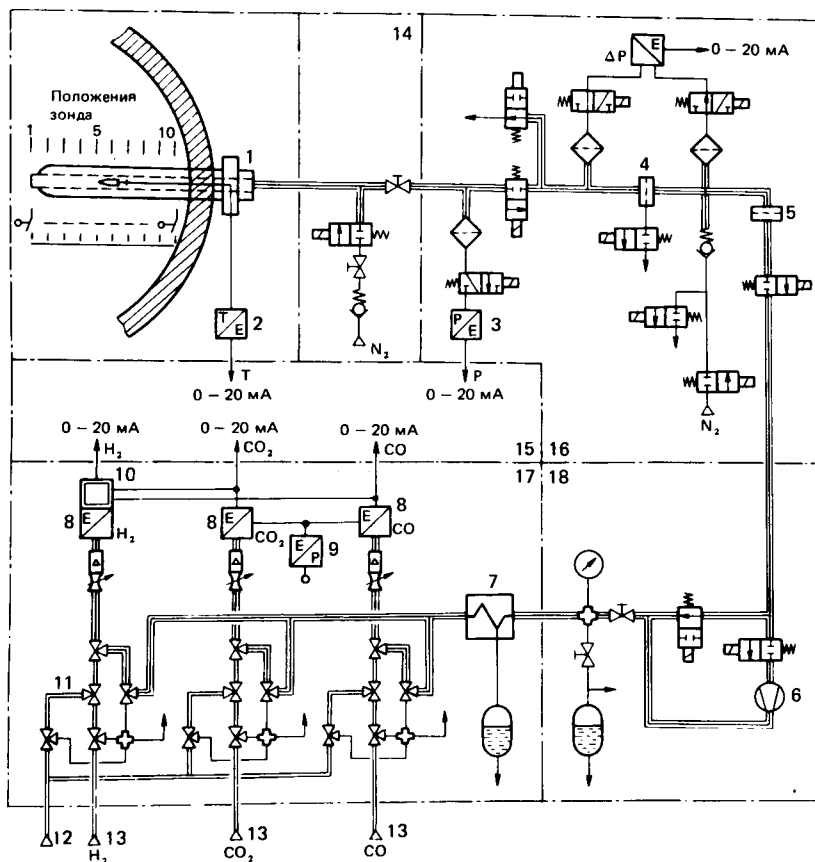


Рис. 2.18. Схема газового анализа:

1 — измерительный зонд; 2 — температурный преобразователь; 3 — преобразователь давления; 4 — фильтр грубой очистки; 5 — фильтр тонкой очистки; 6 — подкачивающий насос; 7 — газовый холодильник; 8 — газовый анализатор (H_2 , CO_2 , CO); 9 — датчик давления воздуха; 10 — корректирующая ЭВМ; 11 — вентильная группа; 12 — азот; 13 — контрольные газы (H_2 , CO_2 , CO); 14 — шкаф отбора газа; 15 — ЭВМ; 16 — шкаф подготовки газа; 17 — шкаф анализа газа; 18 — регулятор давления газа

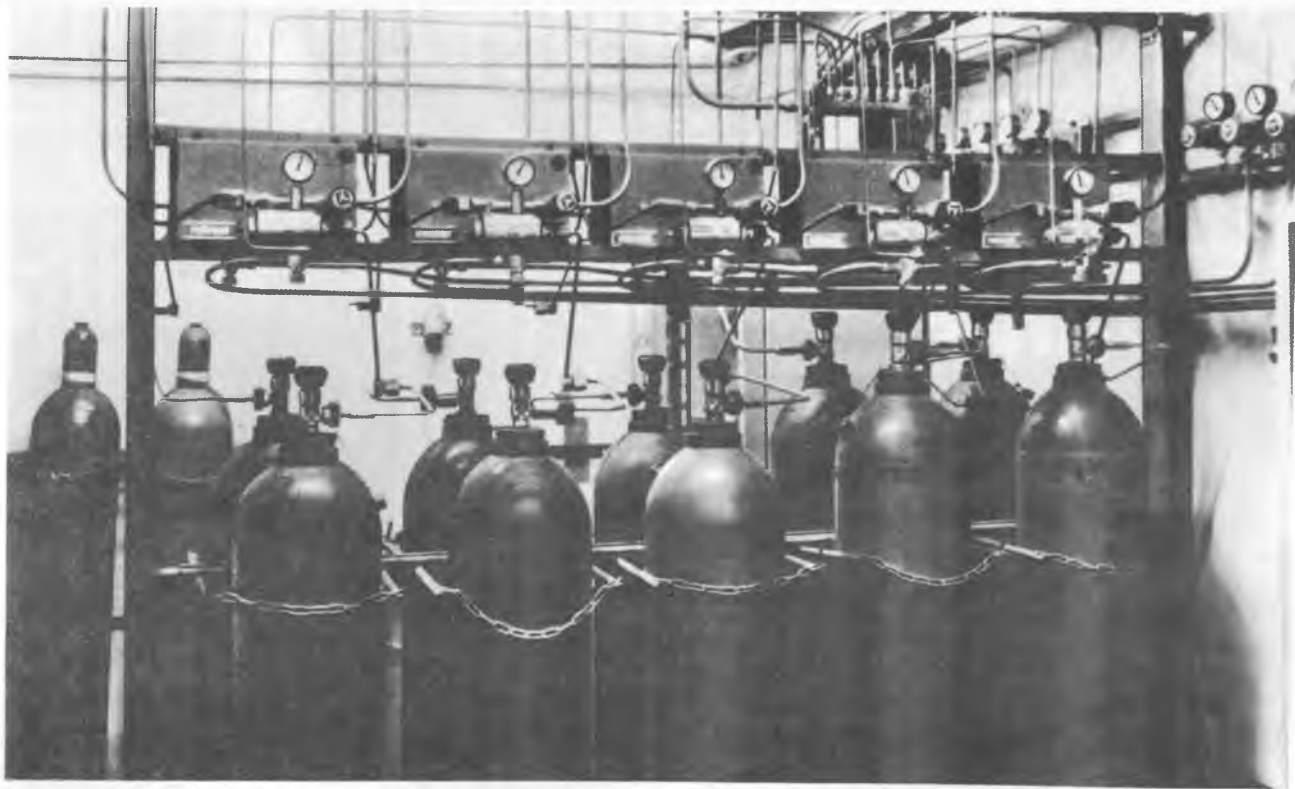


Рис. 2.19. Оборудование подготовки газа

управления печью зонд выдвигается из исходного положения (в кладке) в позицию 0, отводится немного назад и затем устанавливается вблизи печи (точка измерения 1). Измерительная головка открывает газовый канал; газ поступает в анализатор, обтекая при этом термоэлемент. По истечении времени измерения в точке 1, равного 3–5 мин, зонд автоматически перемещается в точку 2 (на 2–3 мин); затем зонд последовательно перемещается от одной точки измерения к другой, пока не возвратится в исходную позицию, где в завершение процесса фильтр и газовые магистрали продуваются сжатым воздухом или азотом. Только при необходимости ремонта зонда он полностью выводится из печи за пределы шибера.

Системы газового анализа (отдельно на каждый зонд), разработанные фирмой "Сименс", включают в себя: шкафы подготовки газа; редукционные устройства, снижающие давление анализируемого газа непосредственно перед газоанализаторами; баллоны с контрольными смесями; обогреваемые трубопроводы для передачи газа на анализ; газоанализаторы, работающие по принципу инфракрасной абсорбции (для CO и CO₂) и измерения теплопроводности (H₂) — рис. 2.18–2.20.

Взятая из печи с помощью горизонтального измерительного зонда проба газа по обогреваемой теплоизолированной линии отбора поступает в шкаф подготовки газа, где подвергается очистке в главном и защитном фильтрах. В процессе продувки линии отбора газа главный фильтр очищается азотом. Обогрев отсека шкафа гарантирует поддержание температуры выше точки росы для пробы газа и исключает выпадение конденсата.

Обогрев газотранспортирующей линии, связывающей шкаф подготовки газа с газоанализаторами, производится с помощью электронагревателя. Температура линий установлена на значение, превышающее точку росы, но не более 150 °C. Перед газовым холодильником давление и расход пробы газа снижаются. Осушенный газ поступает в измерительные устройства газового анализа.

В качестве газоанализаторов используются устройства типа ULTRAMAT с диапазонами измерений 20–50 % для CO и 0–35 % для CO₂ и выходными линейными сигналами 0–20 мА. Настройка нулевой точки и чувствительности выполняется встроенным автоматическим регулятором (в составе которого — запоминающее устройство, сигнализатор граничного значения и коррекция давления и температуры). Диапазон измерений H₂ составляет 0–20 %,

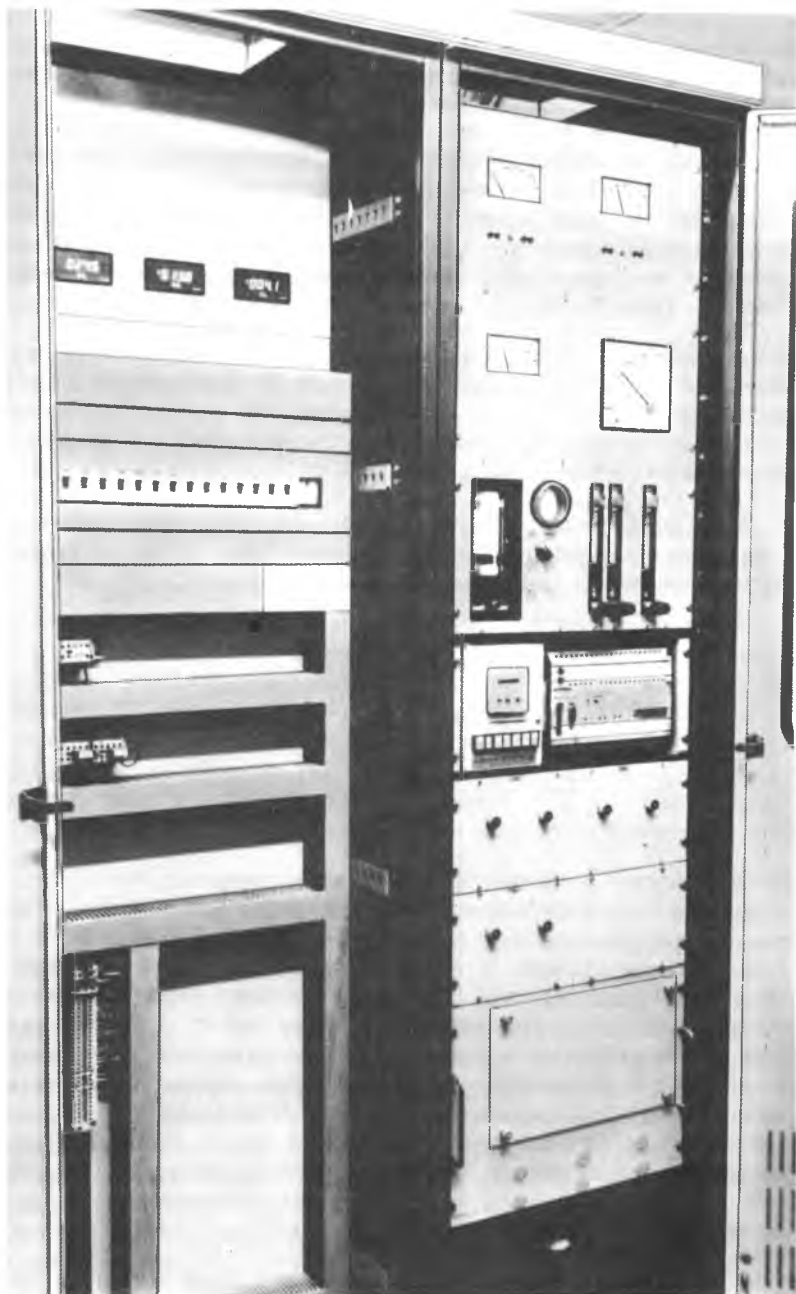


Рис. 2.20. Шкаф газового анализа

выходной нелинейный сигнал — 0—20 мА. Отключение анализируемого газа и подключение контрольного (эталонного) газа для калибровки газоанализаторов на CO , CO_2 и H_2 происходит автоматически.

Поступающая от измерительных зондов информация передается в ЭВМ, где с помощью математических моделей определяются газопроницаемость столба шихты и газораспределение по сечению шихты, распределение слоев кокса и руды, протекание восстановительных процессов, потребность в углероде как восстановителе и источнике тепла, расположение нижней границы когезивной зоны.

Информация от "Спиротерма" используется технологическим персоналом для выявления резких отклонений от нормального хода доменной печи (например, канального хода) и оценки неравномерности распределения материалов и газового потока в целом по сечению печи на уровне засыпи.

На базе информации, полученной от измерительных зондов и "Спиротерма", формируются управляющие воздействия на процесс загрузки шихтовых материалов в печь.

Комплекс технических средств включает в себя: центральное устройство R30 с объемом оперативного запоминающего устройства 1024 килобайт, устройство ввода/вывода 3914, печатающее устройство DR029A, дисковую память 3949 объемом 52 мегабайт, устройство с гибким диском 3944, четыре видеотерминала ZBE3974M (два из них графических), устройство сопряжения "Спиротерма" с R30, устройство связи PE3600. Структура комплекса технических средств представлена на рис. 2.21 и 2.22.

Математические модели системы автоматического контроля и управления газораспределением реализуются с помощью следующих программ расчета: распределения шихтовых материалов по слоям с определением рудной нагрузки по десяти кольцевым зонам печи (распределение шихтовых материалов); расположения нижней границы когезивной зоны (линия плавления); распределение газа и скорости газового потока по радиусу печи с оценкой фактической и максимальной степени использования газа, а также фактического и минимального расхода кокса по десяти кольцевым зонам и в целом по печи (распределение газа); минимального и фактического потребления углерода как восстановителя и источника тепла (минимальный расход кокса); рекомендаций по формированию управляющих воздействий.

Программа расчета распределения материалов по слоям с опре-

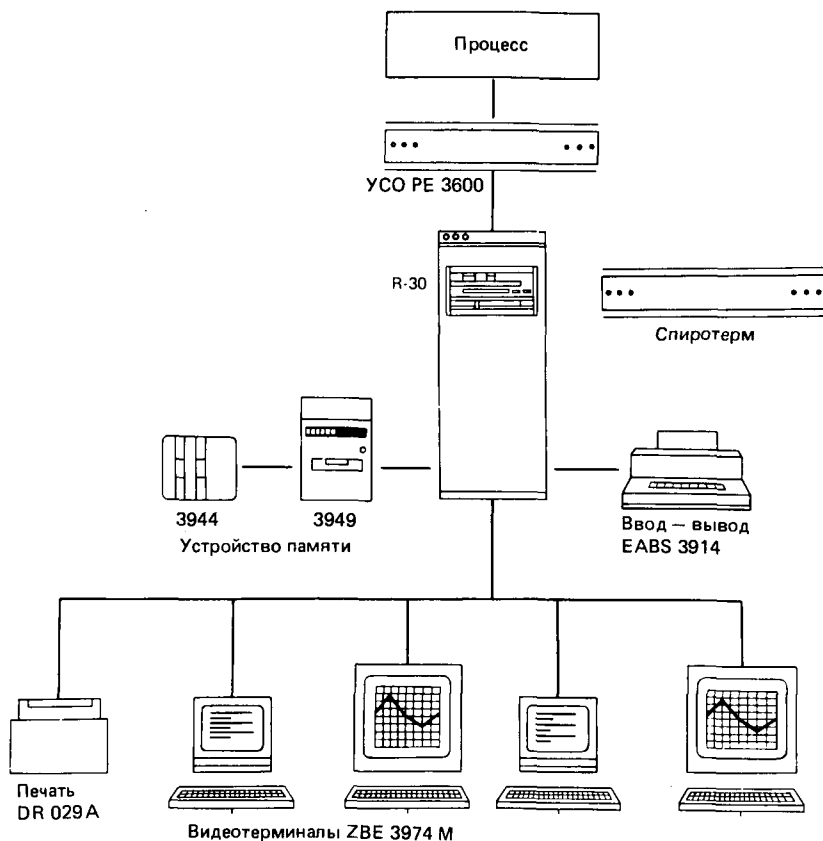


Рис. 2.21. Структура комплекса технических средств

делением рудной нагрузки в каждом кольцевом сечении основана на определении формирования в доменной печи профиля засыпки. При расчете учитываются вид шихтового материала, скорость его опускания, геометрия печи, угол откоса материала на периферии и к оси печи, режим работы распределительного лотка загрузочного устройства. По интегральным частотам распределения отдельных материалов производится определение сегрегации засыпи и распределения фракций по радиусу печи. Траектория падения массы материала, ссыпающегося с лотка, аппроксимируется многочленом второй степени.



Рис. 2.22. Общий вид комплекса технических средств

Адаптация технологических моделей к условиям работы доменной печи проводилась совместно немецкими и советскими специалистами. В результате оптимизации доменного процесса с использованием математических моделей получены следующие результаты.

С помощью реализации модели распределения шихтовых материалов была улучшена программа загрузки, выразившаяся в уменьшении доли кокса в центре печи и средней части радиуса до 62–68 %. На расстоянии ~ 4 м от оси печи доля кокса возросла до 75 % и в то же время увеличилась доля рудных материалов на периферии, что способствует сохранению кладки. В результате изменения программы загрузки шихтовых материалов улучшилось распределение газового потока, понизились температуры на уровне измерительных зондов, температура колошникового газа уменьшилась до 225°C (до оптимизации 270°C), увеличилась степень использования газа и уменьшился расход кокса.

Перераспределение шихтовых материалов отразилось в изменении расположения линии плавления рудных материалов. Расчет модели показал, что уровень линии плавления в центре печи понизился на $\sim 0,5$ м и несколько опустился на периферии. Распределение газа по радиусу печи стало более равномерным, понизилась температура газа в центре печи и на периферии.

Модель расчета минимального расхода кокса позволяет оценить расход кокса в рабочем диапазоне доменной плавки относительно предельных его значений по тепловому балансу и по балансу углерода как восстановителя, а также относительно минимального значения расхода кокса. Ниже приводятся результаты реализации модели:

	Базис (1–31 мая 1988 г.)	Оптимизация (8–30 августа 1988 г.)
Расход кокса, кг/т чугуна:		
фактический	453,0	448,3
минимальный	393,4	394,3
разность	59,6	54,0
Использование газа ETA-CO , %	43,8	45,2
Непрямое восстановление, %:		
фактическое	68,3	66,9
минимальное	68,4	67,0
Потребность в теплоте, МДж/т чугуна:		
нижней части печи	1486,7	1477,5
общая	2675,8	2705,9

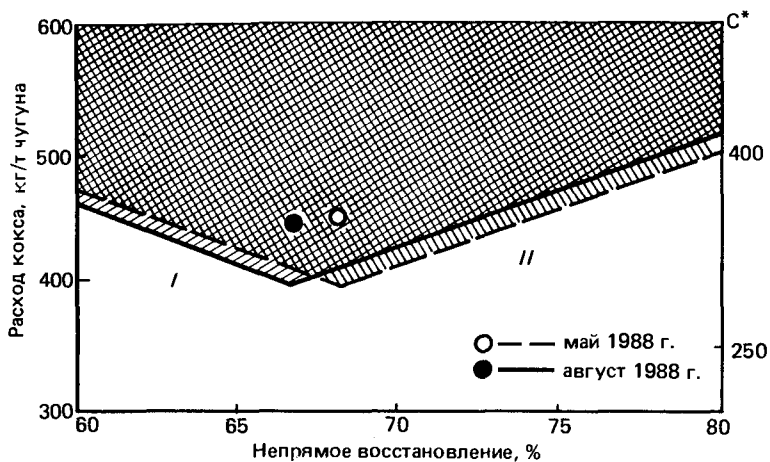


Рис. 2.23. Положение рабочей точки доменной печи при различных параметрах процесса:

I – теплотехническая граница; *II* – материальная граница; C^* – топливный углерод + восстановительный углерод из кокса, кг/т чугуна

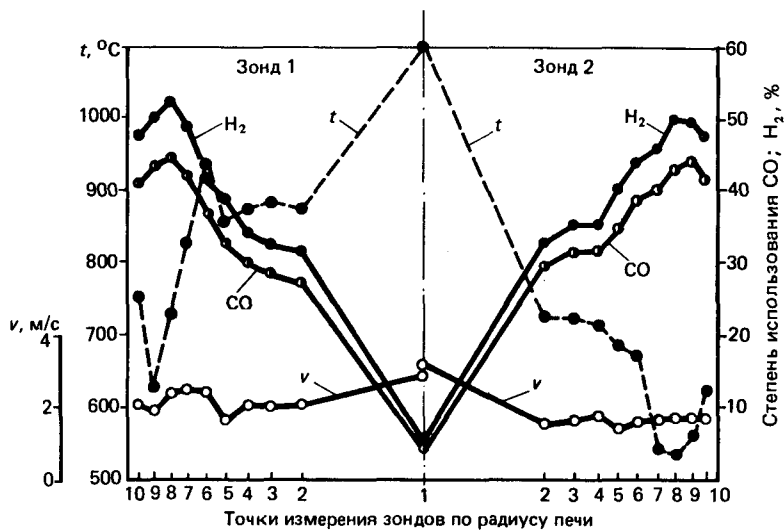


Рис. 2.24. Степень использования газа, температура газа и скорость газового потока по радиусу печи

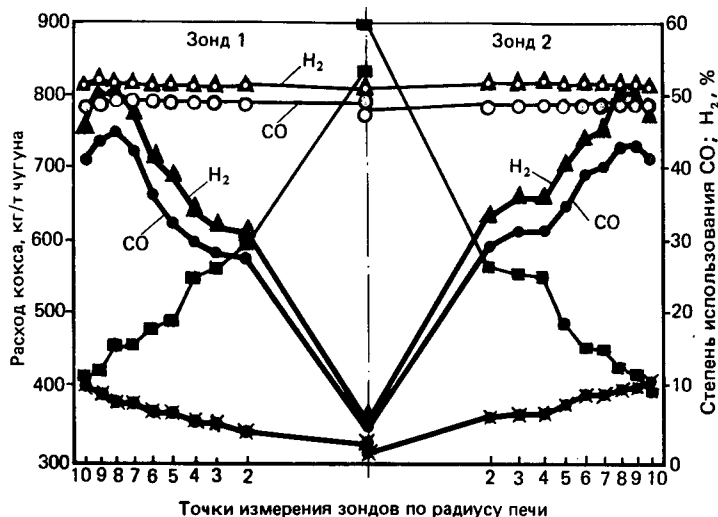


Рис. 2.25. Минимальный (■) и фактический (■) расход кокса и максимальная (○, △) и фактическая (●, ▲) степень использования газа по радиусу печи

Видно, что в период оптимизации расход кокса был ниже на 4,7 кг/т чугуна, уменьшилась на 5,6 кг/т чугуна разница между фактическим и минимально возможным расходом кокса в условиях работы печи. В то же время значение минимального расхода кокса возросло на 0,9 кг/т чугуна, так как несколько изменилась потребность тепла на протекание физических процессов и химических реакций, расход природного газа понизился с 48,7 до 46,2 кг/т чугуна (см. рис. 2.23).

На рис. 2.24 и 2.25 приведены усредненные данные двух серий измерений зондами и результаты расчета модели распределения газа. Приведенные данные показывают пути улучшения использования газов в печи, заключающиеся в изменении программы загрузки для дополнительного понижения температуры газа на периферии и повышения степени использования его в центре печи.

Показатели работы печи в базовом и опытном периодах приведены ниже:

	Базис (1–31 мая 1988 г.)	Оптимизация (8–30 августа 1988 г.)
Время продувки, мин	44,363	30,135
Использование времени, % . . .	99,4	99,6
Загрузка печи, кг/т чугуна:		
руда	27,0	33,6
окатыши	497,0	534,2
агломерат	1102,0	1050,6
пыль	5,0	6,0
всего шихты (нетто)	1621,0	1618,4
кокс	453,0	448,3
природный газ	48,7	46,2
кокс + природный газ	501,7	494,5
Дутье:		
расход, м ³ /мин	9025	8925
температура, °С	1186	1224
влажность, %	8,4	11,5
добавка кислорода, %	22,89	22,71
Суточное производство чугуна, т	10967	11292
Содержание в чугуне, %:		
углерода	5,02	4,87
кремния	0,77	0,68
фосфора	0,056	0,059
серы	0,017	0,016
Температура чугуна, °С	1492	1495
Содержание шлака, кг/т чугуна	281	277
Содержание в шлаке, %:		
O ₂	37,7	37,8
Al ₂ O ₃	10,3	9,5
CaO	39,5	39,8
MgO	12,0	10,7
Температура колошнικο- вого газа, °С	272	225
Содержание в колошнικο- вом газе, %:		
CO	23,10	22,09
CO ₂	18,00	18,19
H ₂	4,20	4,84
CO ₂ /CO + CO ₂ × 100	43,80	45,15

На рис. 2.26 представлены данные измерений зондов, а также расчетные характеристики распределения газового потока (январь 1989 г.).

Благодаря специальным программам осуществляется обобщение и представление показателей газораспределения и использования га-

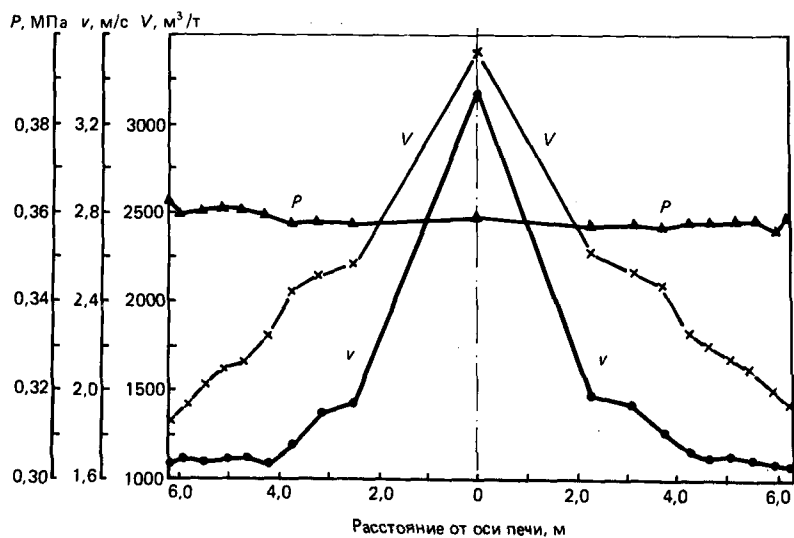
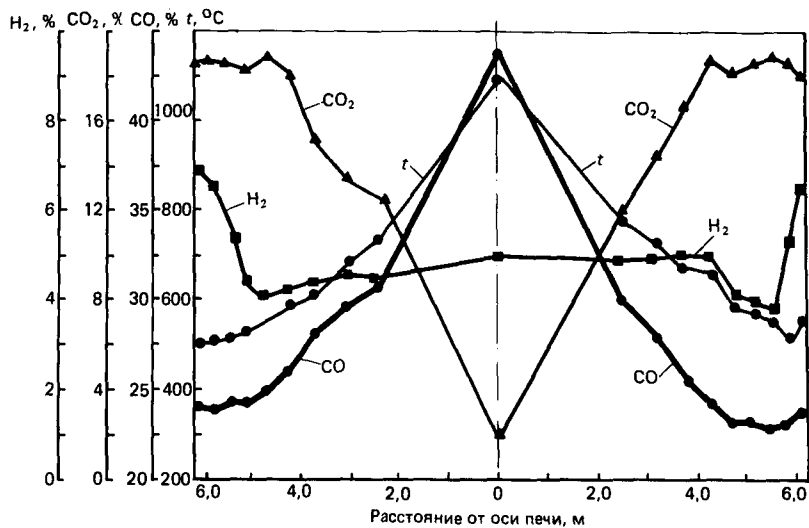


Рис. 2.26. Характеристики газового потока

зового потока в виде таблиц и динамических графиков, удобных для восприятия технологическим персоналом.

На рис. 2.27–2.31 приведены графические изображения следующих данных: соотношение объемов шихты и кокса, рудной нагрузки; высоты шихты и кокса за цикл загрузки; потерь давления; распределение материала по слоям; линии расплава.

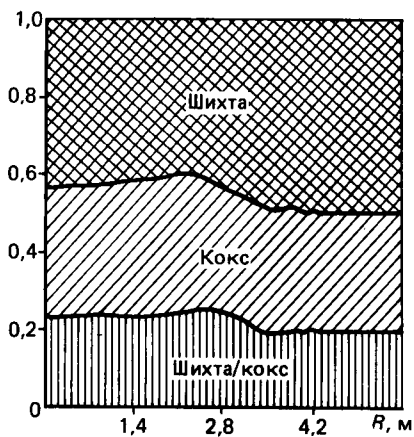


Рис. 2.27. Соотношение объемов шихты, кокса и рудной нагрузки (шихта/кокс)

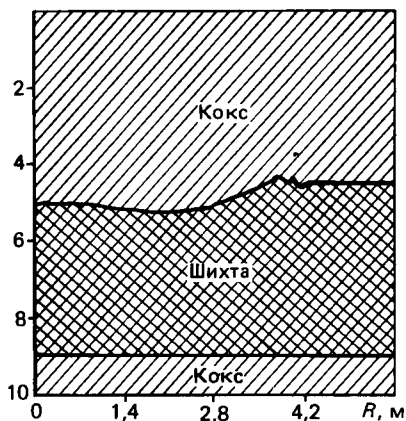


Рис. 2.28. Высота слоев кокса и шихты за цикл загрузки

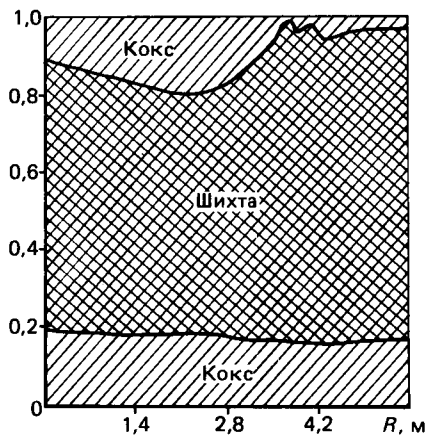


Рис. 2.29. Соотношение перепадов газа в слоях кокса и шихты

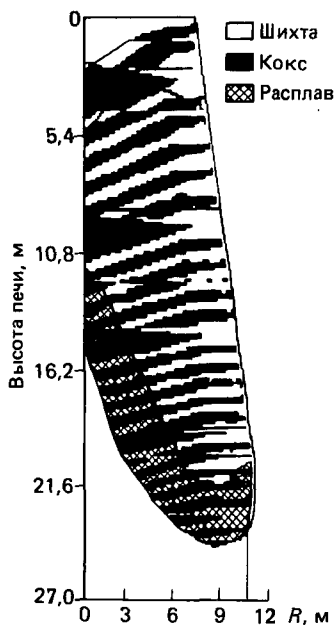


Рис. 2.30. Распределение материалов по слоям

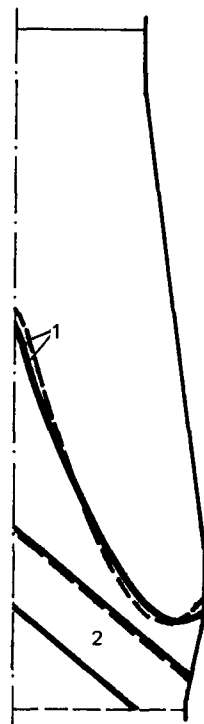


Рис. 2.31. Линия плавения (1) и коксовый канал (2):
— — август 1988 г.; - - - - май 1988 г.

Общее представление о газораспределении в доменной печи осуществляется на базе информации, полученной с помощью горизонтальных измерительных зондов. Ниже приведены примеры полученных протоколов.

Протокол параметров измерения

Зонд 1

Температура	1042	1000	901	790	654	432	306	260	273	273	Град С
Давление	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	Бар
СО-содерж.	49,08	45,01	36,91	30,67	25,28	23,10	21,87	21,09	20,51	20,51	%
СО ₂ -содерж.	0,10	4,99	10,08	14,81	16,55	17,44	18,32	19,37	20,16	20,16	%
Н ₂ -содерж.	9,09	5,91	5,52	5,16	4,98	4,85	4,68	4,47	4,42	4,42	%

Зонд 2

Температура	1100	1030	920	780	640	445	310	279	260	290	Град
Давление	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	Бар
СО-содерж.	50,00	47,00	37,00	30,00	25,00	22,50	22,00	21,00	20,00	21,00	%
СО2-содерж.	0,20	5,20	9,50	15,00	17,00	18,00	18,50	19,50	20,50	21,00	%
Н2-содерж.	10,00	6,00	5,50	5,20	5,00	5,00	4,80	4,50	4,50	4,70	%

Протокол параметров газораспределения по кольцевым зонам

Зонд 2

Расход дутья М3/тчуг	1096	1020	1298	1110	1198	1212	1202	1170	1095	979
Расход кокса кг/тчуг	637	558	561	468	457	446	440	428	408	392
Непрямое восстанов. %	0,94	20,25	42,05	56,56	67,30	72,15	73,13	74,61	74,66	70,37
Площадь кольца М×2	0,33	1,86	3,88	5,81	7,67	9,67	11,72	13,56	15,43	28,53
Выход газа 1000м×3/ч	3,5	17,6	40,5	49,9	66,8	88,1	117,8	134,1	142,8	243,2
Выход газа (суммарн.)	3,5	21,1	61,6	111,5	178,3	266,4	384,2	518,3	661,1	904,3
Кол-во чугуна т/ч	1,7	9,3	19,0	28,0	36,6	48,6	65,7	77,0	87,0	160,6
Кол-во чугуна (сумма)	1,7	11,0	30,0	58,0	94,6	143,2	208,9	285,9	372,9	533,5

Скорость газа при:

нормальных условиях	2,9	2,6	2,9	2,4	2,4	2,5	2,8	2,7	2,6
фактическая	4,6	3,9	3,9	2,9	2,5	2,1	1,9	1,7	1,5

Протокол данных об использовании газа и расходе кокса

Зонд 2

	Радиус СО		СО2	Н2	Ета СО	Ета Сомах	Ета Н2	Ета Н2maxmin	Кокс кг/тчуг	Кокс кг/тчуг	Давл. вар	Т-ра град С
	М	%	%	%	%	%	%	%	кг/тчуг	кг/тчуг	вар	град С
1	0,09	49,98	0,20	10,00	0,40	48,80	0,47	54,04	308,2	637,3	2,21	1100,0
2	0,56	46,63	5,16	5,95	9,96	50,55	11,71	55,79	319,7	557,8	2,21	1030,0
3	1,11	36,37	9,34	5,41	20,43	50,37	24,01	55,60	325,5	561,5	2,21	920,0
4	1,67	29,03	14,51	5,03	33,33	51,14	39,17	56,37	337,1	468,2	2,21	780,0
5	2,22	23,92	16,26	4,78	40,48	51,11	47,57	56,34	341,5	457,4	2,21	640,0
6	2,77	21,33	17,07	4,74	44,44	51,16	52,23	56,39	344,0	445,9	2,21	445,0
7	3,33	20,84	17,53	4,55	45,68	51,21	53,68	56,44	344,8	440,5	2,21	310,0
8	3,89	19,84	18,42	4,25	43,15	51,32	56,58	56,56	346,4	427,6	2,21	279,0
9	4,44	18,76	19,23	4,22	50,62	51,52	59,49	56,75	347,9	408,4	2,21	260,0
10	5,00	19,68	19,68	4,41	50,00	51,63	58,76	56,86	351,0	391,9	2,21	290,0

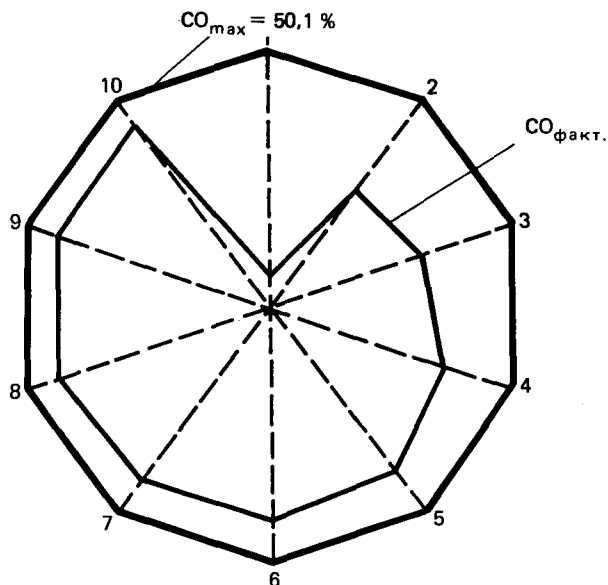


Рис. 2.32. Графическое отображение степени приближения фактических данных об использовании газа в кольцевых зонах к максимально возможным их значениям:
1 – 10 – положения зонда

При расчете количества газов для каждого кольцевого сечения шахты одновременно оцениваются предельная и фактическая степень использования газа в этих зонах и в целом для печи. Расход кокса в виде двух пересеченных линий материального и теплового балансов (см. рис. 2.25) с выделением сектора рациональных режимов (с минимальной степенью прямого восстановления для данных условий плавки) и фактическое состояние процесса отображаются графически.

Степень приближения фактических данных об использовании газа в кольцевых зонах к максимально возможным их значениям отображается на цветном дисплее в виде 10-угольной звезды (рис. 2.32), что достаточно удобно для восприятия технологическим персоналом.

Творческие контакты советских и немецких специалистов в процессе отработки программного обеспечения системы, адаптации моделей и оптимизации газораспределения в печи показали, что имеется еще значительный резерв по совершенствованию режимов доменной плавки. Наиболее эффективный путь — дальнейшее развитие математического моделирования технологических процессов.

3 АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДИНАМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКОЙ

Конвертерный цех Череповецкого металлургического комбината, оснащенный большегрузными конвертерами и машинами непрерывного литья заготовок большой мощности, отличается современной технологией, высоким уровнем механизации и автоматизации.

Освоение передела низкомарганцовистого чугуна в кислородных конвертерах позволило выпускать готовую сталь высокого качества с одновременным улучшением технико-экономических показателей доменного производства.

Передел низкомарганцовистого чугуна на высоком уровне технико-экономических показателей стал возможным благодаря системе динамического управления конвертерной плавкой, разработанной фирмой "Сименс". Система выполняет управление важнейшими операциями технологического процесса: расходом кислорода на продувку, положением продувочной фурмы, подачей сыпучих материалов в конвертер и сталеразливочный ковш и др.

Интеграция систем автоматизированного управления конвертерной плавкой и непрерывной разливкой позволила создать эффективную систему управления технологическими и производственными процессами конвертерного цеха.

3.1 ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ВЫПЛАВКИ КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ

В связи с опережающим вводом в эксплуатацию конвертерного цеха его строительство предусмотрено в три этапа. На первом этапе (ввод в 1979 г.) в составе двух конвертеров вместимостью 400 т каждый и четырех слабовых машин непрерывного литья заготовок производительность конвертерного цеха составила 5 млн.т стали в год. На втором этапе введены в эксплуатацию

третий конвертер (1988 г.) и одна слябовая двухручьева машина непрерывного литья заготовок, обеспечивающая совместно с другими производство более 7 млн.т стали в год.

В настоящее время осуществляется передел чугуна в сталь следующих групп марок: углеродистые рядовые спокойные, конструкционные углеродистые для автолиста, низколегированные, легированные, нержавеющие, шарикоподшипниковые, электротехнические (динамные) и др.

Конвертерный цех размещается в одном производственном многопролетном здании, состоящем из девяти параллельно расположенных пролетов и участка приема слэбов. В него входят следующие производственные отделения и участки: тракт подачи сыпучих материалов и ферросплавов; скрапное; перелива чугуна; первичной переработки шлака; конвертерное с помещениями главных постов управления; непрерывной разливки стали.

В состав конвертерного отделения входят следующие пролеты: загрузочный с примыкающим к нему помещением главных постов управления; конвертерный; ремонта сталеразливочных ковшей. В торцах загрузочного пролета размещены отделения перелива чугуна и скрапное.

Отделение непрерывной разливки стали состоит из пролетов: внепечной обработки стали; передаточного; разливочного; машин газовой резки; уборки и передачи слэбов (транспортного), участка приема горячих слэбов.

Вспомогательными отделениями являются: административно-бытовой корпус, отделение нагнетателей, энергоблок, экспресс-лаборатория, блок мастерских по ремонту роликов и кристаллизаторов, мастерская подготовки скользящих затворов шибера типа, склад аварийного оборудования.

Тракт подачи сыпучих материалов и ферросплавов

Тракт подачи сыпучих материалов состоит из отделения приема сыпучих материалов и ферросплавов и двух узлов перегрузки. Подача сыпучих материалов и ферросплавов в конвертерный цех производится большегрузным автотранспортом. Сыпучие материалы из приемных бункеров с помощью конвейеров передаются в расходные бункеры бункерной эстакады, снабженной системой вибропитателей, весов-дозаторов и течек тракта подачи материалов в конвертер и ковш.

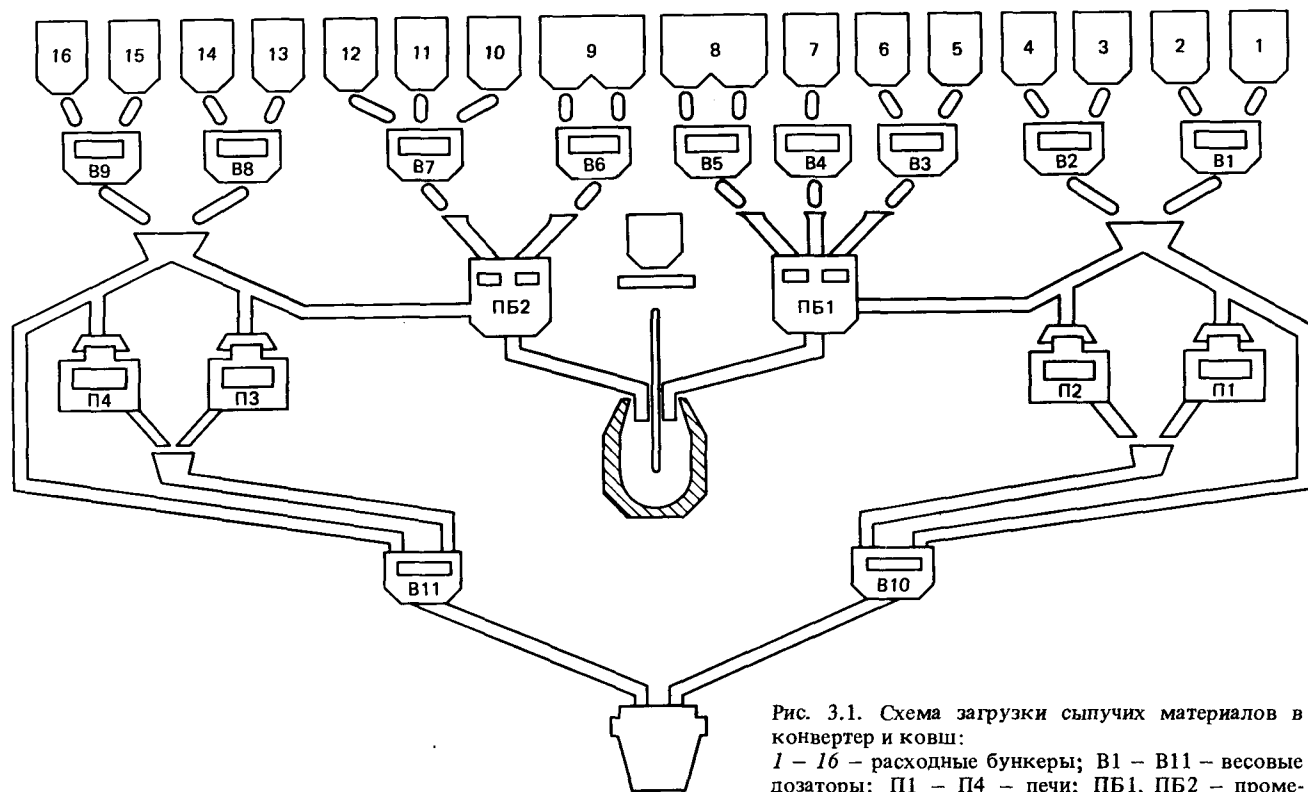


Рис. 3.1. Схема загрузки сыпучих материалов в конвертер и ковш:
 1 – 16 – расходные бункеры; В1 – В11 – весовые дозаторы; П1 – П4 – печи; ПБ1, ПБ2 – промежуточные бункеры

Производительность конвертера и качество выплавляемой стали во многом зависят от точности и скорости выполнения всех операций по весовому дозированию, составлению подачи и загрузки материалов в конвертер и ковш.

Автоматизированная система загрузки материалов в конвертер обеспечивает: хранение оперативного запаса материалов; набор, дозирование, прокаливание ферросплавов и загрузку порций материалов в определенное время и последовательности без остановки продувки; возможность быстрого варьирования программы загрузки; автоматизацию всех выполняемых процессов; малое выделение пыли в атмосферу цеха и в газоотводящий тракт (рис. 3.1).

Скrapное отделение

В загрузочный пролет стальной лом поступает двумя путями: из скrapного отделения и отделения копрового цеха.

Скrapное отделение представляет собой здание длиной 132 м, шириной 36 м и высотой до головки подкранового рельса 14 м. С южной стороны отделение оборудовано пандусом для въезда автотранспорта и его разгрузки. Загрузка скrapных совков, установленных на самоходных скrapовозах, производится непосредственно с автосамосвалов. После загрузки совок взвешивается с помощью мостового крана, оборудованного весами "Метрипонд" (ВНР), или устанавливается на платформенные весы фирмы "Сименс". После взвешивания и корректировки массы скrapа скrapовоз, управляемый с пульта управления дистанционно, подается в загрузочный пролет в зону действия завалочного крана грузоподъемностью 200 т. В случае остановки на ремонт завалочного крана загрузка конвертеров производится заливочным краном с помощью специально предназначенной съемной переходной траверсы.

Из отделения копрового цеха стальной лом доставляется самоходным скrapовозом грузоподъемностью 400 т, транспортирующим два совка. Взвешивание скrapа проводится на платформенных весах фирмы "Сименс". Хранение запаса скrapа предусмотрено в закромах, рассчитанных на 6000 т.

Отделение перелива чугуна

Из доменного цеха чугун с температурой выпуска не менее 1480°C подается в отделение перелива в передвижных миксерах (рис. 3.2) вместимостью 600 т по специально подготовленному железнодорожному полотну со стандартной колеей. Транспортирование чугуна в миксере позволяет сохранить его температуру.

Миксер состоит из корпуса 2, выложенного внутри огнеупорной футеровкой и опирающегося на опорные узлы; привода поворота; кабины 5; ходовой части и системы смазки. Корпус цилиндрической формы имеет два опорных банджа, которыми он опирается на опорные роликовые узлы ходовых тележек. В целях повышения жесткости его средняя часть выполнена из листа большой толщины. Горловина 4 изготовлена в виде массивной литой конструкции и имеет два сливных носка. Торцовые крышки 1 — съемные. В месте разъема корпус имеет кольцевые пояса жесткости. Соединение каждого днища с корпусом осуществляется с помощью 32 захватов, укрепленных на поясах жесткости корпуса. Для монтажа и демонтажа крышек предусмотрено гидравлическое приспособление, которое обеспечивает равномерное и заранее рассчитанное поджатие усилием 2,5 МН. Этого усилия достаточно для обеспечения условия нераскрытия стыка при действии на крышку ферростатического давления и динамических продольных усилий во время маневровых операций.

Для снижения трудоемкости подача огнеупоров при кладке футеровки в местах, удаленных от горловины, предусмотрены два люка 3, расположенные по краям средней обечайки корпуса. Концевые цилиндрические участки оболочки выполнены несколько меньшего диаметра, чем средняя часть, что дало возможность освободить место для опорного узла. С целью равномерного распределения нагрузки на все оси ходовых тележек консольная часть

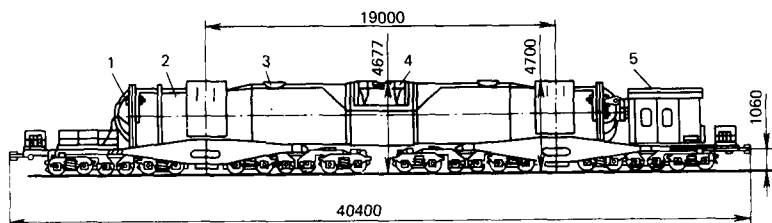


Рис. 3.2. Миксер передвижной вместимостью 600 т

корпуса со стороны привода выполнена более короткой. Фиксирующие штыри с приводной стороны имеют дополнительные посадочные поверхности для поводкового механизма привода поворота.

Каждый опорный узел представляет собой систему катков, попарно объединенных балансирами, которая установлена с возможностью поворота относительно шкворня рамы тележки. Такая конструкция опорного узла позволяет обеспечить равное поджатие всех катков к бандажам корпуса миксера. Корпус при сливе чугуна вращается за счет перекачивания бандажей по каткам опоры. Для предотвращения смещения корпуса при движении служат специальные ролики, контактирующие с вертикальной стенкой дорожки качения бандажей. Эти же ролики передают тяговые нагрузки. При вписывании миксера в кривые участки пути опора поворачивается относительно двенадцатиосных тележек. Боковые нагрузки на реборды и буксовые узлы снижены благодаря опоре на подшипниках качения.

Тормозная система миксера имеет повышенную эффективность за счет увеличения оборудованных тормозами осей до $2/3$ от их общего количества, повышения передаточного числа рычажной передачи и снижения времени загрузки и срабатывания тормозов.

Привод наклона миксера состоит из специального редуктора, четырех навесных трехступенчатых редукторов с пружинными демпферами, поводкового механизма, аппаратуры управления и системы смазки.

Бандажи защищены экранами от воздействия атмосферных осадков и загрязнения. Экран представляет собой сварную металлоконструкцию, оснащенную опорными роликами. Экраны снимаются и устанавливаются на миксер мостовым краном в депо ремонта футеровки.

Ходовая часть миксера состоит из двух двенадцатиосных тележек, оснащенных тормозным и автосцепным оборудованием. Каждая двенадцатиосная тележка состоит из отдельных тележек с центральными пятниками, наиболее жесткая база которых не превышает 1,5 м. Такое исполнение ходовых частей обеспечивает прохождение миксером участков железнодорожного пути малого радиуса.* Каждое автосцепное устройство миксера оборудовано двумя поглощающими аппаратами, что позволяет снизить продольные динамические нагрузки на элементы конструкции при маневровых операциях.

Удаление выгоревшей футеровки и кладка новой предусмотрены на специализированном ремонтном стенде. На стенде осуществляется съем корпуса с тележек, демонтаж и установка днищ.

На миксере установлено весовое устройство для контроля массы заливаемого чугуна; кроме того, миксер оборудован штепсельными разъемами для подключения электропитания к приводу поворота, системе контроля температуры и регистрирующей аппаратуре.

Миксер выставляется на один из двух имеющихся в отделении путей в положение, соответствующее местонахождению под сливным отверстием того или другого заливочного ковша. Зафиксированный на железнодорожных путях миксер через штепсельные разъемы подключается к электросети. С помощью дистанционного управления из пульта миксеровой подключает электропривод поворота бочки миксера. Чугун через горловину миксера и специальный проем между путями попадает в заливочный ковш, установленный на самоходной тележке. Чугуновозная тележка с ковшом в момент наполнения ковша стоит на платформенных весах фирмы "Сименс". Показатели взвешивания передаются в УВМ и отражаются на посту управления.

После перелива заданного УВМ количества чугуна бочка миксеровазавоза возвращается в первоначальное положение, а ковш с чугуном на тележке передвигается к месту автоматического измерения температуры и отбора пробы чугуна для химического анализа, затем транспортируется под заливочный кран в загрузочный пролет конвертерного отделения. Заливочным краном грузоподъемностью 450/100/29 т, оборудованным весами "Метрипонд", ковш с чугуном поднимается до уровня горловины конвертера, развернутого в сторону загрузочного пролета для приема чугуна, и чугун заливается в конвертер. Далее порожний ковш возвращается на самоходную тележку, которая транспортируется в отделение перелива для приемки следующей порции чугуна. Другой заливочный ковш в это время проходит весь цикл, описанный выше. Длительность цикла занятости заливочного крана при обработке одного ковша — 27 мин.

Отделение первичной переработки шлака предназначено для освобождения чаш от шлака, сливаемого из конвертеров и сталеразливочных ковшей, разработки и извлечения из него скрапа с последующей отгрузкой шлака для дальнейшего использования. Технологическая схема уборки шлака от конвертеров основана на переработке жидкого шлака термоударным способом.

Отделение первичной переработки шлака представляет собой открытую площадку с крановой эстакадой. Габариты отделения: длина — 166 м, ширина — 58 м, высота до головки рельса кранового пути — 12 м. Ширина пролета по крановым колоннам — 24 м. Для слива и разработки шлака предусмотрено 6 ям (секций) длиной 23 м и шириной 18 м. Глубина секций — 2 м. Суммарная площадь — 2525 м².

Жидкий шлак сливается из конвертеров в чаши, находящиеся на самоходных шлаковозах под конвертерами, а в разливочном пролете отделения непрерывной разливки стали — из сталеразливочных ковшей в чаши, установленные на стендах. После наполнения жидким шлаком чаши переставляются со стендов на шлаковоз и выдаются в отделение первичной переработки шлака, где литейным краном грузоподъемностью 180 + 63/20 т производится слив шлака в одну из секций по специально разработанному для обеспечения безопасности графику.

Слив шлака начинается с первой секции отделения, а его заливка водой — только после заполнения секции. Секция слива и секция охлаждения шлака разделяются секцией горячего шлака, неохлажденного водой, во избежание попадания горячего шлака на воду. Взрывление и погрузка шлака в автосамосвалы с помощью экскаватора начинается только после его охлаждения до температуры 150 — 200°С. В месте кантовки шлака из отделения непрерывной разливки стали после дробления шлака производится извлечение из него скрапа с помощью электромагнитов.

Освобожденные от шлака чаши устанавливаются на шлаковоз и подаются на установку опрыскивания чаш известковым раствором. Установка представляет собой подвижную штангу с вращающимся диском, к которому поступает известковый раствор. После опрыскивания чаши шлаковоз подается в зону действия крана, с помощью которого проводится присыпка чаши горячим (150 — 200°С) шлаком; затем чаша поступает в конвертерное отделение или отделение непрерывной разливки стали.

Конвертерное отделение

В состав конвертерного отделения входят пролеты: загрузочный, конвертерный, ремонта сталеразливочных ковшей.

Загрузочный пролет (шириной 24 и длиной 134 м) обслуживается двумя мостовыми заливочными кранами грузоподъемностью

450 + 100/20 т и одним скрапозавалочным краном грузоподъемностью 200 т, оборудованных весами "Метрипонд". Поперек пролета проходят четыре рельсовые пути шириной колеи 4800 мм для перевоза стали в отделение непрерывной разливки и шлака (конвертерного и с разливочного пролета) в отделение ее первичной переработки.

В конвертерном пролете (шириной 27 и длиной 352 м) установлены три конвертера вместимостью по 400 т, машины для подачи кислорода в конвертер, системы отвода, охлаждения и очистки конвертерных газов и этажерки с оборудованием для подачи сыпучих материалов в конвертеры и сталеразливочные ковши. Расстояние между осями конвертеров 36 м. Для обслуживания ремонта приводов конвертеров и смены кислородных фурм в пролете установлена крановая тележка грузоподъемностью 80 т. Для проведения ремонтов кислородных фурм и бункеров ферросплавов и раскислителей, установленных на рабочей площадке (отметка +12 м) в торцах пролета установлены два мостовых крана грузоподъемностью 30/5 т. На отметке +74 м установлены два устройства грузоподъемностью 20 т, применяемых при ремонте котла-охлаждителя конвертерных газов.

На рабочей площадке (отметка +12 м) рядом с конвертерами располагаются посты управления поворотом конвертеров, по два поста на каждый конвертер. Один пост предназначен для управления поворотом конвертера при сливе стали, другой — при сливе шлака.

Конвертер вместимостью 400 т имеет цилиндрическую форму с коническим сужением кверху и со вставным днищем, облегчающим работы по замене футеровки. Корпус имеет симметричную горловину.

Футеровка конвертера состоит из трех слоев: предарматурного, арматурного и рабочего. Рабочий слой футеровки, непосредственно соприкасающийся с жидкой ванной, может быть осуществлен в двух вариантах: из периклазошпинелидного и смолодоломитового кирпичей. Кладка арматурного слоя выполняется из хромомагнезитового кирпича. Предарматурный слой и пустоты между слоями заделываются смоломагнезитовой массой, состоящей из смеси магнезитового порошка и каменноугольной смолы.

При периклазошпинелидном варианте футеровки толщина рабочего слоя в нижней конической и средней цилиндрической частях конвертера — 840 мм, в верхней конической части, включая гор-

ловину, — 610 мм; толщина рабочего слоя вставного днища — 460 мм. Толщина арматурного слоя по всему корпусу конвертера, включая вставное днище, — 230 мм. Пространство между рабочим и арматурным слоями затрамбовывается смоломagneзитовой массой с толщиной слоя 60 мм в нижней конической части и до 200 мм на переходе от нижней конической части к вставному днищу. Предарматурный слой (пространство между металлическим корпусом и арматурным рядом кладки) выполняется из утрамбованной смоломagneзитовой массы толщиной от 25 до 60 мм.

Общая толщина футеровки стен конвертера составляет: в верхней конической части — 850 мм, цилиндрической — 1085 мм, нижней — конической — 1150 мм, в районе закругления днища — 1225 мм; толщина вставного днища — 935 мм. Кладка сталевого выпускного отверстия производится хромомагнезитовым кирпичом, толщина футеровки — 234 мм.

При смолодоломитовом варианте футеровка предварительного и арматурного слоев аналогична периклазошпинелидному варианту. Толщина рабочего слоя в нижней конической и средней цилиндрической частях конвертера — 780 мм, верхней конической, включая горловину, — 550 мм; толщина рабочего слоя вставного днища — 565 мм. Пространство между рабочим и арматурным слоями затрамбовывается смолодоломитовой массой с толщиной слоя от 15 мм в нижней конической части и до 250 мм в верхней конической части и на переходе от нижней конической части к вставному днищу. Стыковочный шов между футеровкой вставного днища и футеровкой корпуса конвертера затрамбовывается смоломagneзитовой массой в количестве ~ 20 т.

Общая толщина футеровки стен конвертера составляет: в верхней конической части — 850 мм, цилиндрической — 1025 мм, нижней конической части — 1025 мм, районе закругления днища — 1100 мм; толщина вставного днища — 1025 мм. Футеровка сталевого выпускного отверстия аналогична периклазошпинелидному варианту.

Горячий ремонт футеровки конвертера выполняется после слива стали и шлака методом торкретирования. Он состоит в нанесении на изношенные участки футеровки огнеупорных порошкообразных материалов при помощи устройств для факельного торкретирования с вертикальным расположением фурмы, которая представляет собой конструкцию из труб, установленных концентрически одна в другой. В нижней своей части фурма имеет головку

с равномерно расположенными соплами, что позволяет наносить слой покрытия на футеровку без ее вращения относительно продольной оси. Фурма устанавливается в запасную каретку машины подачи кислорода в конвертер.

Торкрет-масса состоит из смеси, содержащей 70 – 75 % тонкокомлотой извести, 20 – 25 % коксовой пыли и 5 – 10 % спекающей добавки.

Холодный ремонт проводят при значительном износе футеровки, когда рабочий слой изнашивается до появления защитного слоя. Он включает: охлаждение футеровки, ломку и удаление изношенной футеровки, кладку новой футеровки, ее сушку и разогрев. Ломку изношенной футеровки выполняют при помощи специальной машины ударного действия, оборудованной различными сменными приспособлениями.

Для снятия днища с конвертера перед ремонтом футеровки и установки его на место после окончания ремонта используется домкратная тележка. Она также используется для транспортировки сталевазом снятого днища от конвертера в разливочный пролет и обратно и для установки в конвертер ложного днища, поддерживающего футеровку во время кладки. В межремонтном периоде тележка находится в разливочном пролете, а перед началом ремонта устанавливается краном на рельсы, расположенные между разливочным и конвертерным пролетами, и сталевазом передвигается под конвертер.

Поддомкрачивание футерованного конвертера при ревизии и ремонте опорных подшипников и подвесок выполняется при помощи домкратного устройства грузоподъемностью 2200 т; работы, связанные с кладкой футеровки конвертеров, механизированы, здесь используются специальные телескопические подъемники.

Конвертер состоит из следующих основных частей: корпус с опорным кольцом, подшипниковые опоры, привод наклона, станина, удерживающее устройство.

Корпус цельносварной конструкции с вставным днищем и опорное кольцо выполнены из листовой низколегированной стали. Корпус в опорном кольце крепится при помощи шарнирных подвесок и фиксирующих упоров. Такая конструкция крепления обеспечивает практически беспрепятственное перемещение корпуса относительно кольца при изменении размеров в процессах нагрева и охлаждения, а также надежную фиксацию корпуса при любых углах наклона конвертера. Верхняя часть опорного кольца и кор-

пуca покрыта защитными листами, препятствующими попаданию на них горячего шлака и металла.

Подшипниковые опоры представляют собой корпус, который опирается на две колонны со сферическими подпятниками. В корпусе опоры установлено два однорядных конических подшипника. Такая конструкция опорного узла обеспечивает свободные осевые перемещения конвертера при тепловых расширениях корпуса и опорного кольца, а также компенсацию возможных перекосов цапф. Корпус фиксированной подшипниковой опоры закреплен в осевом направлении шкворнем, расположенным по центру подшипниковой опоры. Корпус плавающей опоры может перемещаться вдоль оси цапф конвертера.

Привод наклона конвертера — односторонний, навесной и установлен непосредственно на цапфе опорного кольца. Привод состоит из центрального одноступенчатого редуктора с шестью приводными валами, на каждом из которых располагается приводной блок, который представляет собой трехступенчатый цилиндрический редуктор и электродвигатель мощностью 130 кВт. Реактивный привода вращающий момент компенсируется удерживающим устройством рычажного типа.

Все механизмы конвертера управляются с центрального и вспомогательных постов управления. Ниже приведены общие сведения о конвертере:

Вместимость, т.	400
Рабочий объем, м ³	320 — 440
Удельный объем, м ³ /т.	0,91 — 1,1
Глубина ванны жидкого металла, мм	1920
Высота рабочего объема, мм.	10350
Внутренний диаметр рабочего объема, мм	6830
Внутренний диаметр корпуса, мм.	9000
Отношение высоты рабочего объема к диаметру	1,52
Диаметр горловины, мм.	4000
Площадь поверхности ванны, м ²	35 — 41
Удельная поверхность ванны, м ² /т	0,094
Общая масса футеровки при рабочем слое из периклазо- шпинелидного кирпича, т.	810
Общая масса футеровки из смолодоломитового кирпича, т	757
Расстояние между осями опорных подшипников, мм . .	14000
Общая масса, т	2330

Машина для подачи кислорода в конвертер установлена над конвертором на площадке с отметкой +53600 мм. Она включает: две

(рабочую и резервную) фурмы; неподвижную направляющую раму, закрепленную на цеховой металлоконструкции; платформу с двумя подвижными направляющими; приводы подъема (опускания) фурмы; раму с механизмом передвижения платформы; металлорукава и два стэнда для установки фурм при необходимости их замены. Рама смонтирована на рабочей площадке. Фурма состоит из трех концентрично расположенных труб (центральная для кислорода), патрубков с присоединительными фланцами и медного наконечника. Установлена фурма в каретке, подвешенной на трос, концы которого прикреплены к барабану привода подъема. Гибкие металлорукава, закрепленные между присоединительными фланцами фурмы и внутрицеховыми трубопроводами, обеспечивает водяное охлаждение и подачу кислорода к фурме.

Платформа служит для оперативной замены рабочей фурмы резервной. Она установлена на катках, перемещающихся по рельсам, закрепленным на раме. Для устойчивости платформы и предотвращения ее опрокидывания под действием массы фурмы, металлорукавов и направляющих на раме предусмотрен верхний рельс, расположенный над задними катками платформы. Смещение платформы в горизонтальной плоскости в направлении, перпендикулярном направлению ее перемещения, предотвращается опорными роликами.

Механизм передвижения платформы, расположенный под ней, включает в себя электродвигатель переменного тока, тормоз, редуктор, зубчатую рейку и командоаппарат; последним обеспечивают автоматическую остановку резервной фурмы по оси конвертера при необходимости замены рабочей фурмы. Для вертикального перемещения фурмы на платформе установлены два одинаковых привода, в каждый из которых входят по два электродвигателя (один резервный) постоянного тока, тормоз, редуктор, соединенный с барабаном, командоаппараты, обеспечивающие автоматизацию процесса продувки металла, а также необходимые блокировки и сельсин, регистрирующий на пульте управления положение фурмы в конвертере. Для уменьшения амплитуды качания фурмы при продувке предусмотрен центрирующий роликовый зажим.

Смазка всех подшипников — ручная закладная, зацеплений редукторов — жидкая картерная.

Управление машиной — дистанционное с главного поста управления конвертером или от УВМ.

Техническая характеристика машины для подачи кислорода в конвертер приведена ниже:

<i>Кислородная фурма</i>	
Рабочий ход фурмы, мм.	20600
Давление кислорода, МПа.	2
Расход кислорода (максимальный), м ³ /мин.	2800
Давление воды, МПа.	1,5
Расход воды, м ³ /ч.	520
Диаметр шлангов для воды и кислорода, мм.	250
Наружный диаметр фурмы, мм.	426
Масса фурмы, кг.	5885
<i>Механизм подъема фурмы</i>	
Мощность электродвигателя, кВт.	70
Частота вращения, мин ⁻¹	535
Скорость подъема, м/с.	0,05 — 0,824
Диаметр каната, мм.	28
<i>Механизм перемещения платформы</i>	
Мощность электродвигателя, кВт.	7
Частота вращения, мин ⁻¹	985
Скорость перемещения, м/с.	0,13
Ход платформы, мм.	2450
Диаметр ходового колеса, мм.	500

В газоотводящем тракте конвертерные газы охлаждаются до температуры 70°C, очищаются от пыли до санитарной нормы и дожигаются на свече с целью предотвращения выбросов оксида углерода в атмосферу.

Отвод конвертерных газов без дожигания осуществляется за счет поддержания атмосферного давления в зазоре между горловиной конвертера и кессоном котла-охладителя. При этом устанавливается стабильная граница между конвертерными газами и воздухом, обмен между ними обусловлен только диффузией и небольшим перемешиванием за счет эжектирующего действия струи газа.

В случае переменного выхода газов из конвертера система автоматического регулирования непрерывно изменяет сопротивление тракта. Труба Вентури второй ступени газоочистки расположена таким образом, чтобы зона раздела находилась на заданном уровне в кольцевом зазоре между конвертером и муфтой кессона.

Газоотводящий тракт рассчитан также на кратковременную работу с дожиганием оксида углерода (в период пуско-наладочных работ) при нарушении плотности тракта, при неисправности системы регулирования давления под муфтой кессона и при неисправности дожигающего устройства. В этом режиме количество

отводимых от конвертера газов уменьшается, что вынуждает снижать интенсивность продувки конвертера кислородом (табл. 3.1).

Таблица 3.1 Режим отвода конвертерных газов

Режим отвода газов	Интенсивность продувки, м ³ /мин	Количество газов, выходящих из конвертера, м ³ /мин	Коэффициент избытка воздуха	Выход влажных газов после газоочистки, м ³ /мин
С дожиганием	700 – 800	100 · 10 ³	1,3	540 · 10 ³
Без дожигания	1800 – 2000	330 · 10 ³	0,11	520 · 10 ³

Газоотводящий тракт состоит из следующих частей: котел-охладитель, газоочистка, нагнетатель, свеча с дожигающим устройством.

Котел-охладитель ОКГ-400 предназначен для охлаждения конвертерных газов, поступающих в газоочистку, и представляет собой радиационный Г-образный барабан, выполненный из газоплотных мембранных панелей и установленный между конвертером и газоочисткой. Водяной объем котла – 158 м³, паровой – 53 м³. Конструктивно котел состоит из следующих элементов: кессон, стационарный газоход, съемная крышка, муфта, устройства для ввода кислородной и измерительной фурм, окна для подачи сыпучих материалов, барабан-сепаратор и др.

Кессон представляет собой четырехгранный газоход размером 4800X4850 мм, выполненный из труб диаметром 57X5 мм и шагом между ними 75 мм. Он имеет наклонную часть под углом 40° к вертикали с соответствующим окном для прохода кислородной фурмы и отверстием для прохода измерительной фурмы и отбора проб по ходу плавки. Кессон установлен на специальной тележке и на период перефутеровки конвертера отводится в сторону.

Стационарный газоход имеет Г-образную компоновку в виде четырехгранника со сторонами 4800X4850 мм, выполненного из труб диаметром 38X5 мм с шагом между ними 50 мм. Соединение стационарного газохода с кессоном — фланцевое с компенсатором.

Муфта котла предназначена для восприятия кратковременных внешних изменений количества газов, выходящих из конвертера, и

используется в качестве буферной емкости, заполненной некоторым объемом неподвижного газа. Она представляет собой цилиндр диаметром 9150 мм, выполненный из труб диаметром 57X5 мм с шагом 75 мм. Верхняя часть муфты имеет горизонтальный потолок с внутренним диаметром 8200 мм. В процессе работы муфта поднимается и опускается на 1500 мм с помощью электромеханического привода. В опущенном положении муфта находится в период продувки конвертера кислородом.

В окна для пропуска фурмы и подачи сыпучих материалов вставляются легкоъемные кессоны конструкции типа труба в трубе. Диаметр кессона 1800 мм. Уплотнение окон осуществляется подачей азота.

Барaban-сепаратор служит для разделения пароводяной смеси, выходящей от поверхностей нагрева котла, на пар и воду. Барaban установлен на цеховых металлоконструкциях на отметке 6300 мм. Диаметр барабана 3112X56 мм, длина 18200 мм. Питание котла осуществляется химически очищенной водой с температурой 102 °С.

Газоочистка предназначена для очистки конвертерных газов с пыленностью 150 г/м³ до санитарной нормы. Конструктивно газоочистка состоит из следующих элементов: установка предварительного впрыска, труб Вентури первой и второй ступеней очистки, пылеулавливателя с завихрителем и др.

Нагнетатели используются для отсоса газов из конвертера во время продувки плавки и транспортировки их к дожигающему устройству. Они установлены в дымососном отделении. Нагнетатель 8500-11-1 — центробежного типа, одноступенчатый, двустороннего всасывания. Ротор нагнетателя имеет одно рабочее колесо клепаной конструкции. Смыв отложений с лопаток ротора производится водой. Для предотвращения протечек газа из нагнетателя в помещение машинного зала в местах выхода вала ротора из корпуса имеются газовые (азот) уплотнения. Нагнетатель имеет системы защиты при аварийных ситуациях, систему управления, контроля и сигнализации. Привод нагнетателя осуществляется от взрывозащищенного синхронного электродвигателя мощностью 5000 кВт (1500 мин⁻¹, напряжение 6 кВ).

Полнота дожигания в верхней части свечи обеспечивается за счет разветвления потока газа на четыре отвода. С целью предотвращения проскока пламени в ствол свечи каждого отвода установлено многотрубное сопло из параллельных труб. При возникно-

вении аварийных ситуаций, требующих гашения факела конвертерных газов, предусмотрена подача пара в ствол свечи перед дожигающим устройством.

Прием шлака из конвертеров и сталеразливочных ковшей производится в шлаковые чаши вместимостью 30 м³. Для слива жидкой стали из конвертера и транспортирования ее в отделение непрерывной разливки используются разливочные ковши вместимостью 385 т. Шлаковые чаши и сталеразливочные ковши устанавливаются на специальных самоходных тележках — шлаковозах и сталевозах, которые представляют собой платформу с шириной колеи 4800 мм. Передвижение тележек осуществляется двумя отдельными механизмами, работающими совместно. Питание к электроприводам подводится посредством токосъемника от троллеев, расположенных в проходном тоннеле. Управление шлаковозами и сталевозами — дистанционное с постов управления. Тележки оборудованы двумя автосцепками с фракционными поглощающими аппаратами, одна из которых имеет механическое устройство расцепления.

После выпуска стали из конвертера ковш со сталью подается на установку комплексной доводки плавки в ковше, где корректируются температура и химический состав стали.

Данные, характеризующие технологические операции по продувке аргоном и порошками, вводу алюминиевой катанки, корректировке химического состава стали, микролегированию, отбору проб, измерению температуры и окисленности металла, накапливаются в памяти ЭВМ и печатаются в отчетных документах.

Пролет ремонта сталеразливочных ковшей имеет ширину 30 и длину 352 м. Он предназначен для ремонта и подготовки заливочных и сталеразливочных ковшей. Пролет обслуживается тремя мостовыми кранами грузоподъемностью 125 + 30 т и двумя консольными кранами грузоподъемностью 5 т. Его пересекают пять рельсовых путей с шириной колеи 4800 мм: три сталевожных пути — для транспортировки ковшей с металлом в разливочный пролет; шлаковозный путь — для транспортировки шлаковых чаш из передаточного пролета в отделение первичной переработки шлака и обратно; один путь — для передачи порожних сталеразливочных ковшей из передаточного пролета в пролет ремонта.

В пролете ремонта размещены следующие производственные помещения и оборудование: растворный узел, помещение для подготовки скользящих шибберных затворов, помещение наборки

108

фурм для продувки металла аргоном, помещение сушки фурменного припаса, машина набивки футеровки ковшей.

Технологические особенности выплавки стали

Химический состав жидкого чугуна, заливаемого в конвертер, следующий: 4,7 – 5,0 С, 0,25 % Мп, $\leq 1,2$ % Si, $\leq 0,3$ % S, $\leq 0,1$ % Р; температура чугуна на выпуске из доменной печи составляет не менее 1480^оС, в заливочном ковше – 1380^оС. Загружаемый в конвертер стальной лом имеет размеры, не более: куски – 300 X X 300 X 1000 мм; пакеты – 710 X 1000 X 2000 мм; обрезь – 400 X 400 X 850 мм.

В качестве охладителей могут быть использованы железная руда и окатыши, чугунная стружка, агломерат, окалина, известняк, доломит, марганецсодержащие материалы; фракционный состав охладителей 10 – 80 мм.

Для наводки шлака применяется мягкообожженная известь с содержанием CaO + MgO ≥ 91 %, серы $\leq 0,05$ % и потерями при прокаливании ≤ 5 %. Для ускорения процесса шлакообразования применяется плавиковый шпат в кусках размером ≤ 100 мм в поперечнике с содержанием фтористого кальция ≥ 75 %.

Т а б л и ц а 3.2 Температурный режим плавов

Содержание углерода в готовой стали, %	Группа марок стали	Температура металла, ^о С	
		в конвертере	в сталеразливочном ковше после продувки аргоном
$\leq 0,04$	Электротехнические	1640 – 1660	1660 – 1620
$\leq 0,12$	Углеродистые спокойные, полуспокойные	1605 – 1625	1600 – 1620
		1635 – 1655	1580 – 1595
$> 0,12$	Низколегированные Углеродистые спокойные и низколегированные	1645 – 1665	1580 – 1595
		1635 – 1655	1580 – 1595
$> 0,30$	Углеродистые спокойные	1615 – 1635	1560 – 1580

Раскисление и легирование металла производится в сталеразливочном ковше твердыми, прокаленными до 800°C ферросплавами. В качестве раскислителей и легирующих используются: ферросилиций, силикомарганец, ферромарганец, силикокальций, алюминий. Содержание углерода в стали корректируется присадками в виде сухого молотого кокса или термоантрацита непосредственно в ковш под струю металла. Данные температурного режима приведены в табл. 3.2.

С технологической точки зрения оптимальное содержание марганца в чугуне для конвертерного передела составляет 0,6 – 0,8 %. Однако, в связи с возрастающим дефицитом марганцовистого сырья все более актуальной проблемой становится разработка технологии передела низкомарганцовистых чугунов.

В условиях комбината повышение содержания марганца в чугуне с 0,22 до 0,65 % при использовании агломерационной руды с содержанием 19,8 % Mn приводит к снижению производительности доменной печи на 24 %, увеличению расхода кокса на 13 кг/т чугуна, при этом себестоимость чугуна возрастает на 2,3 руб/т. Расчеты показывают, что для комплекса доменная печь – конвертер наиболее экономичным является передел чугуна с естественным содержанием марганца 0,10 – 0,25 %.

Передел чугуна с низким содержанием марганца связан с замедленным шлакообразованием, удлинением периода бесшлаковой продувки металла, переходом шлака в гетерогенное состояние в период интенсивного окисления углерода, образованием выбросов металла и металлошлаковой эмульсии, заматаллированием фурм, горловины конвертера и даже камина. Одним из основных вопросов организации конвертерного передела низкомарганцовистого чугуна является разработка режима шлакообразования.

Анализ механизма шлакообразования показал, что для улучшения растворения извести в начале продувки при переделе низкомарганцовистого чугуна следует применять комплексные шлакообразующие материалы, содержащие готовые компоненты первичного шлакового расплава (FeO , MnO , CaO , MgO), и флюсы, понижающие температуру плавления первичной эвтектики.

Радикальным решением вопроса шлакообразования могло быть вынесение операций подготовки шлака из конвертера и применение готовых шлаковых смесей или жидких шлаков, что позволяет повысить интенсивность и глубину протекания рафинировочных процессов в ванне почти в два раза.

При продувке чугуна с различным содержанием марганца изменение его концентрации во второй половине плавки было практически одинаковым и определялось в основном температурным режимом.

Исследование окисленности металла на плавках с низкомарганцовистым и обычным передельным чугуном показывает, что при выплавке среднеуглеродистой стали (0,16 – 0,25 % С) содержание кислорода в обоих случаях практически одинаково, а при выплавке низкоуглеродистой стали (08 кп) оно несколько выше на плавках с низкомарганцовистым чугуном. Анализ фактических и равновесных концентраций кислорода в металле для этих условий свидетельствует о том, что при содержании углерода $> 0,16$ % окисленность стали регулируется только углеродом и не зависит от содержания марганца.

При содержании 0,08 – 0,16 % С окисленность металла регулируется и углеродом и марганцем. На плавках, содержащих $< 0,08$ % С, при продувке обычного передельного чугуна, окисленность металла регулируется марганцем, а при продувке низкомарганцовистого – углеродом. Следовательно, марганец не при всех концентрациях может контролировать окисленность металла, даже содержащего $< 0,08$ % С. Минимальная концентрация, при которой марганец принимает на себя "защитные" функции, составляет 0,13 %; ниже этого уровня марганец не определяет окисленность стали. Окисленность металла, содержащего $< 0,08$ % С и $< 0,13$ % Мп, зависит в основном от окисленности шлака.

Результаты исследований позволили определить основные направления разработки и создания промышленной технологии передела низкомарганцовистого чугуна: разработка дутьевого и шлакового режимов плавки, обеспечивающих нормальное протекание процессов шлакообразования и рафинирования металла.

На Череповецком металлургическом комбинате была опробована и освоена технология передела низкомарганцовистого чугуна (0,25 % Мп) в большегрузных конвертерах при расходе кислорода 700 – 800 м³/мин.

Разработанный дутьевой режим при увеличенном количестве металлолома приводит в начале плавки к преимущественному окислению железа и повышению содержания FeO в шлаке до 18 – 20 %. Наличие высокотемпературной реакционной зоны способствует быстрому растворению извести и раннему формированию шлака, несмотря на недостаток MnO. Быстрое шлакообразование в

начале (через 2 – 3 мин) и сохранение шлака в течение всего периода продувки исключает выносы и выбросы металла и шлакометаллической эмульсии, заметалливание фурмы и горловины конвертера. Разработанные дутьевой и шлаковый режимы дают возможность использовать чугуны с содержанием марганца до 0,1 %. Все это позволило сохранить существующую на комбинате технологию доменной плавки без использования в шихте марганец-содержащих материалов.

В зависимости от скорости обезуглероживания и шлакообразования высота фурмы над поверхностью ванны при продувке изменяется от 3,5 до 1,7 м. Продувка заканчивается при содержании углерода 0,07 – 0,09 % и полупродукт доводится до заданного состава в ковше; содержание $Fe_{общ}$ в конечном шлаке при этом составляет 9 – 15 %. Продувка стали аргоном дала возможность усреднить и стабилизировать состав и температуру металла в ковше и уменьшить загрязненность неметаллическими включениями.

Повышение расхода кислорода до 1100 – 1500 м³/мин потребовало разработки новых головок фурм и отработки режимов регулирования параметров кислородной продувки и присадки шлакообразующих материалов с использованием автоматизированной системы управления конвертерной плавкой фирмы "Сименс".

Для интенсивной продувки с расходом кислорода до 1400 – 1750 м³/мин на комбинате разработана и используется шестисопловая продувочная фурма новой конструкции. Труба имеет тангенциальное расположение сопел, направленных по образующей однополостного гиперболоида вращения. Изменение конструкции сопел и их расположение в соответствии с газодинамическими характеристиками обеспечивают улучшение теплового баланса плавки за счет большего дожигания СО в объеме конвертера, а также пропорциональное снижение степени заметалливания котла-охладителя и фурмы. Фурма позволяет одновременно обрабатывать окислителем поверхностную периферийную зону и интенсивно окислять подфурменную зону, что приводит к сокращению времени плавки и уменьшению расхода жидкого чугуна.

Хромирование головки фурмы позволило в несколько раз увеличить стойкость продувочной фурмы.

При комбинированном процессе продувки металла кислород подается сверху с использованием фурмы двухконтурной (двухъярусной) конструкции, а инертный газ (аргон) через днище конвертера.

Продолжаются эксперименты с фурмами разной конструкции, цель которых — улучшить условия дожигания оксида углерода в диоксид в полости конвертера и увеличить долю металлолома в шихте.

При переходе на повышенную интенсивность продувки продолжительность плавки сократилась на 11,4 мин, в том числе продувка — на 9,7 мин, а основность и окисленность шлака, остаточное содержание марганца, степень десульфурации и дефосфорации металла, качество готового металла остались практически на прежнем уровне.

Известно, что передел низкомарганцовистого чугуна характеризуется не только ухудшением шлакообразования, но и повышением расхода чугуна и марганцовых сплавов. С целью улучшения технико-экономических показателей процесса плавки используется ряд особенностей в технологии. Так, применение смеси извести с легкообоженным доломитом (содержание в смеси 7 — 16 % MgO) привело к улучшению процесса шлакообразования при одновременном снижении расхода плавикового шпата с 2,3 — 2,5 до 1,6 — 1,8 кг/т стали. Ввод промпродукта коксохимического производства в конвертер до завалки металлолома позволяет снизить расход жидкого чугуна на 5 — 7 кг/т и плавикового шпата на 0,2 кг/т стали. При вводе в сталеразливочный ковш ковшевых остатков шлака производства силикомарганца экономия силикомарганца составляет 0,9 кг/т, коксика — 0,19 кг/т стали.

Вопрос увеличения доли лома в конвертерной плавке приобретает все большую актуальность. Методы, позволяющие увеличить долю скрапа в шихте кислородных конвертеров, связаны с улучшением теплового баланса плавки, приходную часть которого можно значительно изменить только за счет внешних источников тепла. Одним из перспективных направлений повышения доли стального лома в конвертерном процессе является использование в качестве топлива различных углеродосодержащих материалов. Их применение обеспечивает более высокую, чем у природного газа и мазута, степень усвоения конвертерной ванной тепла и горючих компонентов топлива.

В конвертерном цехе освоена технология выплавки стали с вдуванием порошкообразных теплоносителей в ванну с использованием углеродосодержащих порошков (пылевидные отходы коксохимического производства) добавлением в завалку угля с содержанием летучих до 30 %. На опытных плавках отработаны: режим пневмотранспорта порошков; конструкция комбинированной продувочной фурмы; система автоматического контроля и управления работой установки. Определены особенности и основ-

ные параметры технологии конвертерного процесса с вдуванием порошкообразных теплоносителей. Достигнуто снижение удельного расхода чугуна на плавках с дожиганием отходящих газов на 9,5 кг/т, без дожигания — 26,3 кг/т.

Анализ брака первого передела по опытным и сравнительным плавкам показал, что вдувание углеродосодержащих материалов в конвертерную ванну по ходу продувки не ухудшает качества непрерывнолитых заготовок. Механические свойства металла в готовом прокате опытных плавков находятся на уровне, характерном для обычной технологии.

Для предварительного нагрева лома в конвертере в качестве теплоносителей используются промежуточный продукт обогащения углей (промпродукт) и отсеб кокса (кокстик). Фракционный состав промпродукта и коксика 0 — 25 мм (содержание фракции 25 — 40 мм не более 10 %), влажность — до 18 %. На плавках с нагревом лома снижаются расходы чугуна, кислорода на основную продувку на 2 — 3 тыс. м³, а расход лома увеличивается на 10 т по отношению к плавкам без нагрева лома.

Выявлена значительная экономическая эффективность комбинированного процесса (продувка аргоном через днище конвертера) — увеличение доли металлолома в шихте примерно на 20 кг/т, уменьшение расхода извести на 5 кг/т без ущерба для десульфурации и дефосфорации. Меньшая окисленность шлака определила существенное повышение выхода годного и сокращение расхода раскислителей.

Одним из основных факторов, влияющих на стойкость футеровки конвертера, является качество обжига футеровки. Наиболее распространенный способ обжига футеровки конвертеров — за счет сжигания кокса в струе кислорода в течение 4 — 6 ч (кокс подается по тракту сыпучих материалов). Повышение температуры футеровки при этом должно происходить по заданному температурному графику. Соблюдение температурного режима обжига обеспечивает хорошую подготовку футеровки к службе, исключает обрушение рабочего слоя и образование сколов и позволяет прококсовать рабочий слой на значительную глубину. Все это повышает стойкость футеровки.

Однако, проведение обжига по заданному температурному режиму сопряжено с известными трудностями: при подаче кокса по ходу обжига отмечается большое влияние каждой порции кокса на температуру футеровки. Вначале за счет охлаждающего воз-

действия массы кокса температура падает, а затем, при разжигании кокса начинает расти, что приводит к заметным отклонениям реальной температуры от заданного графика. Регулирование расхода кислорода при этом не дает существенного улучшения, напротив, может привести к увеличению отклонения от графика ввиду значительной тепловой инерции конвертера.

Разработано и внедрено программное устройство автоматического управления дозированием и подачей кокса в конвертер. При обжиге конвертера устройство обеспечивает заданное изменение ритма подачи кокса. Новая технология обжига футеровки позволила повысить стойкость конвертера на 25 – 30 плавов, уменьшить расход кокса на 30 % и кислорода в среднем на 5 %.

Отделение непрерывной разливки стали

В состав отделения входит пролет внепечной обработки стали, предназначенный для обработки металла инертными газами, порошкообразными реагентами и доводки металла по температуре и химическому составу. Пролет (шириной 30 и длиной 168 м) обслуживается мостовым литейным краном грузоподъемностью 500 + 100/20 т, оборудованным весами "Метрипонд". Для проведения ремонтов в пролете установлен подвесной однобалочный однопролетный кран грузоподъемностью 10 т.

Передаточный пролет предназначен для приема сталеразливочных ковшей с металлом со сталевозов и передачи их на резервные позиции подъемно-поворотных станков в МНЛЗ, слива оставшегося после разливки в ковшах шлака в шлаковые чаши и последующей передачи порожних ковшей в пролет ремонта, а заполненных шлаковых чаш – в отделение переработки шлака. В торце пролета размещена часть участка ремонта промежуточных ковшей, в противоположном торце пролета проходит тупиковый железнодорожный путь с временной разливочной площадкой длиной 60 м для разливки металла в изложницы.

Пролет (шириной 30 и длиной 304 м) пересекают пять рельсовых путей: три сталевозных пути – для передачи ковшей с металлом на станки МНЛЗ, шлаковозный путь – для транспортировки шлаковых чаш в отделение первичной переработки шлака и обратно, один путь – для передачи порожних сталеразливочных ковшей из передаточного пролета в пролет ремонта. Он обслуживается двумя мостовыми разливочными кранами грузоподъ-

емностью 500+100/20 т, оборудованными весами "Метрипонд", мостовым литейным краном грузоподъемностью 180+63/20 т и консольным краном грузоподъемностью 5 т. Для проведения ремонта в пролете установлены три подвесных однобалочных крана грузоподъемностью 10 т.

В передаточном пролете размещается следующее технологическое оборудование: машины для ломки футеровки и крышек промежуточных ковшей (промковшей); стенды для футеровки промковшей и крышек; самоходные тележки для транспортирования ковшей и промковшей, изложниц; стенды для шлаковых и сталеразливочных ковшей, сталевозов и др. Схема организации работ в пролете заключается в следующем: сталеразливочный ковш с металлом самоходным сталевозом передается из пролета обработки стали в передаточный пролет. Затем ковш краном грузоподъемностью 500 т поднимается на разливочную площадку МНЛЗ (отметка +11,5 м) и ставится на разливочный подъемно-поворотный стенд, находящийся в резервной позиции. Из резервной позиции стенд с ковшом разворачивается в рабочую позицию для разлива металла на МНЛЗ.

По окончании разливки шлавки стенд разворачивается в передаточный пролет, ковш берется краном грузоподъемностью 500 или 180 т и шлак из него сливается в шлаковый ковш, стоящий на стенде. Предусмотрена кольцевая транспортировка сталеразливочных ковшей, т.е. ковши с металлом подаются из-под конвертеров к МНЛЗ на одних сталевозах, а обратно в пролет ремонта порожние ковши транспортируются другим, специальным сталевозом.

Замена промежуточных ковшей на МНЛЗ проводится следующим образом. Подготовленный на участке ремонта промковш краном грузоподъемностью 180 т устанавливается на передаточную тележку (отметка +6,75 м), которая передается на одну из МНЛЗ и через проем в рабочей площадке МНЛЗ краном поднимается и устанавливается на тележку подъемно-поворотного стенда. Отработавший промковш подается на участок ремонта в обратном порядке. Возможен другой вариант замены промковшей одним из кранов передаточного пролета, минуя передаточную тележку на отметке +6,75 м.

Подача материалов, запасных частей и другого сменного оборудования в передаточный пролет может производиться автотранспортом через автовъезд или железнодорожный путь с южной стороны пролета.

При аварийной ситуации во время разливки металла на МНЛЗ (прорыв металла, некрытие скользящего шибера затвора и др.) плавка может быть разлита на состав с изложницами на разливочной площадке с северной стороны пролета.

Разливочный пролет (шириной 36 и длиной 304 м) обслуживается двумя мостовыми кранами общего назначения грузоподъемностью 125/20 т, мостовым краном грузоподъемностью 80/20 т и консольным настенным подвижным краном грузоподъемностью 5 т.

Четыре машины непрерывного литья заготовок (рис. 3.3) предназначены для производства непрерывных слитков толщиной 200 – 315 мм, шириной 1000 – 1900 мм и длиной 700 – 10500 мм. МНЛЗ – двухручьевые, с независимым оборудованием для каждого ручья, криволинейного типа, с радиальным кристаллизатором и плавным выпрямлением слитка с жидкой фазой. Разливочная площадка находится на высоте 11,5 м над уровнем пола цеха. Слябы с МНЛЗ выдаются на рольганг с отметкой бочки роликов +1000 мм. Подъемно-поворотный стенд для сталеразливочных ковшей имеет поворотную платформу с траверсой для двух позиций ковша – резервной и рабочей. Подъем ковшей осуществляется с помощью гидроцилиндров, траверса стенда вращается электродвигателем.

МНЛЗ оборудована двумя тележками для промежуточных ковшей. Тележки снабжены механизмом подъема ковша и механизмом передвижения тележки. Электропитание приводов механизмов тележки подводится электрокабелем. На разливочной площадке размещены аварийные емкости и шлаковики для аварийного приема металла из сталеразливочного ковша и слива остатков металла и шлака из промежуточных ковшей.

Конструкция кристаллизатора обеспечивает возможность его перестройки по ширине и конусности непосредственно в машине. Механизм качания кристаллизатора рычажного типа установлен на опорной стенке, на которой также смонтированы две роликовые секции верхней зоны вторичного охлаждения. Конструкция верхней зоны направляющего верхнего аппарата выполнена в виде единого блока, обеспечивающего его быструю замену и выверку относительно технологической линии.

Роликовые секции дугового участка выполнены в виде верхних и нижних кассет по пять роликов в каждой кассете. Верхние кассеты присоединены с помощью стяжек и клиньев через пакет предварительно стянутых пружин к колоннам, установленным в на-

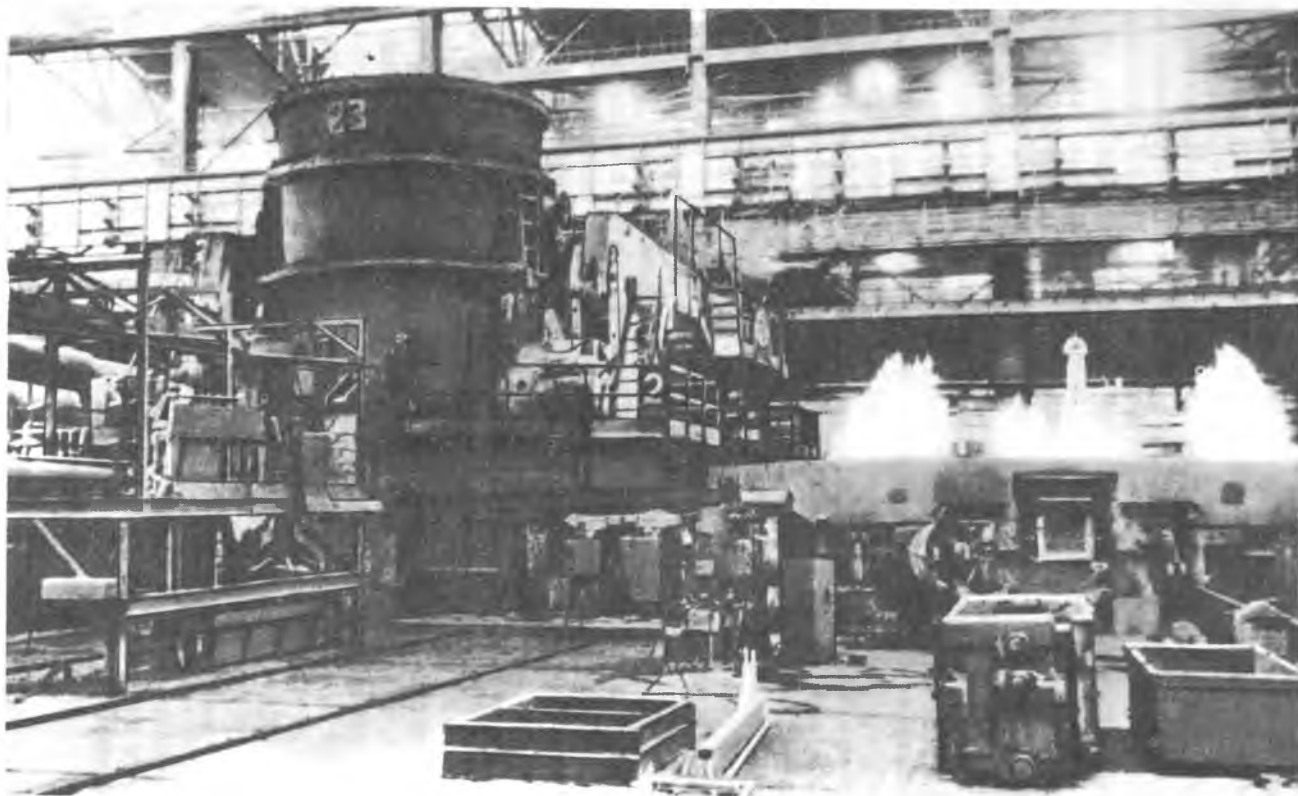


Рис. 3.3. Вид на разливочную площадку МНЛЗ № 5

направляющих несущих рам нижних роликов. Ролики нижнего ряда секции — приводные от электродвигателя через планетарные и распределительные редукторы. Рамы роликовых секций и сами ролики выполнены водоохлаждаемыми.

Ролики нижнего ряда криволинейного участка установлены на несущих рамах. Верхние ролики попарно смонтированы на траверсах, которые балансирно закреплены на колоннах, размещенных в направляющих несущей рамы. В траверсах размещены пакеты предварительно сжатых пружинных буферов. Все ролики и рамы водоохлаждаемые. Приводными выполнены ролики нижнего ряда через один. Роликовые секции горизонтального участка выполнены аналогично секциям криволинейного участка. Все нижние ролики последней секции выполнены приводными.

Технологические операции по отделению затравки от слитка, ее уборке из технологической линии разливки и заведению затравки в МНЛЗ сверху через полость кристаллизатора осуществляются специальными устройствами, включающими механизм отделения затравки, устройство для ее подъема и тележку, перемещающуюся на разливочной площадке, для передачи затравки в район кристаллизатора.

Для обслуживания роликовых секций дугового участка выполнены специальные криволинейные направляющие пути, а роликовые секции горизонтального участка обслуживаются при помощи специального крана грузоподъемностью 12 т.

Разводка труб систем охлаждения смазки и гидроуправления выполняется в районе оборудования установки по площадкам металлоконструкций и по фундаментам. Помещение насосно-аккумуляторной станции и маслоподвала располагается вблизи МНЛЗ на отметке —9 м.

Привод роликов вторичного охлаждения и других механизмов, требующих регулирования скорости, осуществляется с помощью электродвигателей постоянного тока металлургического исполнения, закрытых, с естественным охлаждением. Привод механизмов, не требующих регулирования скорости, выполнен с помощью электродвигателя переменного тока закрытого исполнения. Для приводов вспомогательных, длительно работающих механизмов применены закрытые обдуваемые электродвигатели переменного тока.

Привод механизмов разливочной площадки — электродвигатель переменного тока, а механизма качания кристаллизатора — безредук-

торный, с двигателем постоянного тока индивидуального исполнения с принудительной вентиляцией. Система управления этим электроприводом обеспечивает точность поддержания скорости $\pm 5\%$ во всем диапазоне регулирования при знакопеременной нагрузке.

Питание двигателей постоянного тока осуществляется от комплектных преобразовательных устройств.

Тиристорные преобразователи, входящие в состав комплектных устройств, представляют собой два трехфазных симметричных моста со встречно-параллельным соединением для работы с раздельным управлением. Системы регулирования тиристорных приводов выполнены на базе аналогичных интегральных элементов, в основном по структуре "регулятор скорости (напряжения, э.д.с.) двигателя с подчиненным регулятором якорного тока".

Система электроприводов механизмов основной технологической линии (ОТЛ) МНЛЗ обеспечивает: плавное, без толчков и рывков, перемещение слитка при пуске машины и регулирование скорости разливки, согласование скоростей всех механизмов ОТЛ, участвующих в вытягивании и транспортировке слитка; регулирование скорости механизмов ОТЛ, участвующих в вытягивании и транспортировке слитка; регулирование скорости механизмов ОТЛ в пределах $0,2 - 2,5$ м/мин с ускорением и замедлением в пределах $0,5 - 2,5$ м/мин² в зависимости от сечения отливаемого слитка; точность поддержания скорости механизмов $\pm 2\%$; регулирование скорости разливки с целью поддержания заданного уровня металла в кристаллизаторе.

Управление механизмами ОТЛ осуществляется в трех режимах: основном — разливка и двух вспомогательных — выдача захоложенного слитка и заведение затравки.

В технических решениях МНЛЗ № 5 учтены мировые тенденции развития конструкции и технологии непрерывной разливки стали, реализованы конструктивные особенности, направленные на улучшение качественных показателей производимой продукции. К решениям, превышающим мировой уровень, следует отнести:

- надувную затравку, позволяющую весьма существенно упростить конструкцию и, следовательно, повысить надежность оборудования зоны вторичного охлаждения МНЛЗ;

- более совершенную по сравнению с аналогами форму технологического канала на участке выпрямления слитка, что создает воз-

возможность более рационального использования деформационных способностей оболочки отливаемого слитка;

— расположение тянущих роликов по всей длине роликовой зоны, уменьшающих растягивающие напряжения в твердой оболочке сляба;

— систему дистанционного и автоматического изменения ширины орошения сляба в зоне вторичного охлаждения, позволяющую улучшить качество металла, отливаемого с изменением ширины сляба в процессе разливки;

— криволинейный и горизонтальный участки зоны вторичного охлаждения, выполненные в виде жестких качающихся блоков.

При помощи такой конструкции снижаются усилия от правки слитка, действующие на ролики, тем самым увеличивается стойкость роликов и подшипников оборудования при обеспечении стабильности технологического канала. Кроме того, благодаря данной конструкции роликовых секций снижается металлоемкость оборудования, улучшаются условия его обслуживания и ремонта.

Все роликовые зоны вторичного охлаждения (исключая секцию № 1) выполнены бандажированными, что существенно увеличивает рабочий ресурс роликов (до 5 — 6 тыс. плавов) и, кроме того, увеличивает их ремонтпригодность, так как после износа заменяются только бандажы, а оси роликов сохраняются.

МНЛЗ оснащена измерительной затравкой, которая помимо измерения технологических растворов направляющего роликового аппарата зоны вторичного охлаждения, позволяет измерять также износ и прогиб роликов непосредственно в ручье МНЛЗ в паузах между разливками плавов.

Следует отметить реализованные технические решения, соответствующие мировому уровню в области непрерывного литья и обеспечивающие высокие технико-экономические показатели МНЛЗ № 5.

На МНЛЗ применены большегрузные промежуточные ковши (промковши) вместимостью 42 — 47 т при уровне металла 1025 — 1125 мм, благодаря чему без снижения скорости разливки при замене сталеразливочных ковшей создаются оптимальные условия для всплытия неметаллических включений, что в свою очередь, приводит к улучшению качества готового металла и увеличению срока работы оборудования между регламентными заменами.

Промковши оснащены шибберными затворами с электромеханическим приводом. Разработана новая конструкция подъемной тележки промковша с рациональной схемой нагружения. Изменение узлов и места встройки весоизмерительных датчиков увеличили стойкость последних и надежность системы весоизмерения в целом.

МНЛЗ оснащена устройствами для подачи шлакообразующих смесей в промковш и кристаллизатор, а также устройствами механизированной замены погружных стаканов.

Перестраиваемые по ширине отливаемого слитка кристаллизаторы совместно с системой форсуночного охлаждения с автоматической настройкой ширины орошения слитка позволяют осуществлять разливку малых партий слитков определенного размерного сортамента без снижения производительности МНЛЗ.

Применение в зоне вторичного охлаждения "мягкого" водовоздушного охлаждения слитка обеспечивает улучшение качества поверхности слябов, особенно трубных марок сталей. Выполнение роликовых секций зоны вторичного охлаждения в виде укрупненных блоков, настраиваемых вне МНЛЗ на специальных стендах, создает возможность существенного сокращения ремонтных простоев МНЛЗ и улучшения условий работы обслуживающего персонала. Роликовые секции и их блоки на участках выполнены полностью симметричными, поэтому их можно устанавливать в любой из ручьев МНЛЗ. Благодаря применению разрезных трехопорных роликов на дуговом и криволинейном участках уменьшены шаги и диаметры роликов, что позволяет вести разливку всего марочного состава стали на скоростях до 1,6 м/мин без какого-либо снижения качества отливаемых слитков. В состав вспомогательного оборудования МНЛЗ входит комплект стендов для сборки и настройки роликовых секций. Большинство стендов с целью сокращения тяжелого физического труда ремонтного персонала и сокращения времени настройки роликовых секций гидрофицированы.

Ниже приведены технические характеристики криволинейной, двухручьевой МНЛЗ № 5:

Расстояние между ручьями, мм.	6000
Вместимость разливочного ковша, т. . . .	385
Высота подъема разливочного ковша на стенде, мм.	800
Вместимость промковша (максимальная/номинальная).	47/42

Рабочий уровень металла в промковше, мм	1025
Высота подъема промковша, мм	550
Сечение отливаемых слывов, мм	250 × 1100 × 1900
Радиус кривизны кристаллизатора (базовой стенки), мм	10000
Длина, мм:	
кристаллизатора	1200
радиального участка	13031
криволинейного участка	5588
горизонтального участка	19376
металлургическая*	37995
Скорость разливки, м/мин	0,2–1,6
Максимальная скорость по механизации, м/мин.	2,2
Параметры качания кристаллизатора:	
амплитуда, мм.	± 2; ± 3,5; ± 6
частота, мин	40–200

Управление механизмами МНЛЗ и примыкающего оборудования проводится с пяти постов управления и рабочих мест. Главный пост управления ПУ1 расположен на разливочной площадке. В пролете машин газовой резки расположено оборудование для порезки движущегося слитка на мерные слывы, передачи их в транспортный пролет, а также для приема затравки из зоны вторичного охлаждения МНЛЗ, ее отделения от движущегося слитка, подъема с рольганга отделенной от слитка затравки хранения ее до передачи на устройство заведения в кристаллизатор.

Пролет (шириной 36 и длиной 304 м) обслуживается двумя мостовыми кранами грузоподъемностью 125/20 и 80/20 т. Для ремонта оборудования в пролете установлены два подвесных крана грузоподъемностью 5 т. Поперек пролета проходят два рельсовых пути для транспортировки сменного оборудования МНЛЗ. Между ручьями МНЛЗ расположены посты управления машинами газовой резки.

Порезанные на мерные длины слывы поступают по рольгангам машин газовой резки в пролет уборки и передачи слывов (транспортный пролет), передаются на одну из двух имеющихся рольганг-тележек и с их помощью отправляются на рольганг участка горячих слывов. В пролете машин газовой резки предусмотрены специальные накопители, где порезанные слывы могут укладываться устройством для передачи слывов, которым управляет оператор выдачи с поста управления.

Транспортный пролет (шириной 36 и длиной 304 м) обслуживается двумя мостовыми кранами грузоподъемностью 10 т. Для

производственных нужд проложен железнодорожный путь, поперек пролета проходят два рельсовых пути для транспортировки сменного оборудования. В пролете предусмотрены три автовъезда для обслуживания ямы с окалиной.

Участок приема горячих слабов имеет в своем составе два пролета, расположенных перпендикулярно к транспортному пролету. В одном пролете расположен транспортный рольганг для приема горячих слабов и передачи их к маркировщику, а затем к машине газовой резки. С помощью тележек грузоподъемностью 240 т слabsы передаются во второй пролет участка приема горячих слабов, где осуществляется их погрузка на специальные платформы для транспортировки металла на склад слабов.

Энергоснабжение конвертерного цеха

Источником снабжения конвертерного цеха кислородом, азотом и аргоном является кислородный цех. В кислородно-распределительный пункт цеха по двум трубопроводам поступают кислород и азот под давлением 2 МПа (20 атм). По отдельным вводам подаются аргон под давлением 1,6 МПа (16 атм), кислород — 1,1 МПа (11 атм) и азот — 0,3 МПа (3 атм). Кроме того, цех имеет по три ввода природного газа давлением 0,3–0,6 МПа (3–6 атм) и сжатого воздуха давлением 0,6 МПа (6 атм) от общей сети комбината.

Осушка воздуха для питания аппаратуры систем пневмоавтоматики производится с помощью специальной установки, расположенной в конвертерном цехе.

Система кондиционирования (центральные кондиционеры и зональные доводчики) обеспечивает заданные температуру и влажность воздуха в помещениях. В помещениях оперативных пультов предусмотрено кондиционирование воздуха в летний период с помощью автономных кондиционеров.

Снабжение цеха водой осуществляется тремя чистыми и двумя грязными оборотными циклами. Вода чистых оборотных циклов используется для охлаждения оборудования и не применяется в технологии. Охлаждение воды производится на градирнях, после чего она возвращается на повторное использование. Вода грязных оборотных циклов непосредственно применяется в технологических процессах для охлаждения металла, внешнего охлаждения оборудования, слива шлака, окалины, в процессах осаждения и гид-

ротранспорта пыли в газоочистке и т.д. Грязная вода очищается в очистных сооружениях.

Электроснабжение конвертерного цеха предусмотрено от трех независимых источников электроэнергии. Размещение электропомещений в цехе и компоновка электрооборудования внутри помещений выполнены исходя из принципа приближения щитов управления к токоприемникам. Электропомещения выполнены закрытыми, вентилируемыми с подпором воздуха. Пускорегулирующая аппаратура и индивидуальные источники питания основных технологических механизмов установлены в электро-технических помещениях. Пускорегулирующая аппаратура общецеховых механизмов расположена в шкафах, установленных в непосредственной близости от механизмов в цехе. Аппаратура управления основными технологическими механизмами размещается в закрытых постах управления и на открытых рабочих местах.

3.2 АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Автоматизированная система управления технологическими процессами конвертерной плавки фирмы "Сименс" построена по трехуровневой структуре (рис. 3.4). Два нижних уровня, объединяющие локальные системы и выполненные на базе типовых цифровых и аналоговых модулей, расположены непосредственно на механизмах и в постах управления, обеспечивают автоматический контроль и регулирование параметров технологических процессов. Верхний уровень составляют четыре управляющие вычислительные машины.

На нижнем уровне используются следующие локальные системы автоматического контроля (в количестве 431): взвешивания металлического лома на платформенных весах, жидкого чугуна при переливе, сыпучих материалов в промежуточных бункерах и ферросплавов; температуры чугуна в ковшах после перелива; расхода и состава кислорода на продувку; положения и прогара продувочных фурм; расхода, давления и химического состава конвертерных газов; шлакообразования; положения конвертеров; температуры и содержания углерода в металле и др.

Основные параметры технологического процесса (в количестве 1298) автоматически регистрируются, отображаются на цифровых индикаторах, табло, дисплеях и печатаются в отчетных документах

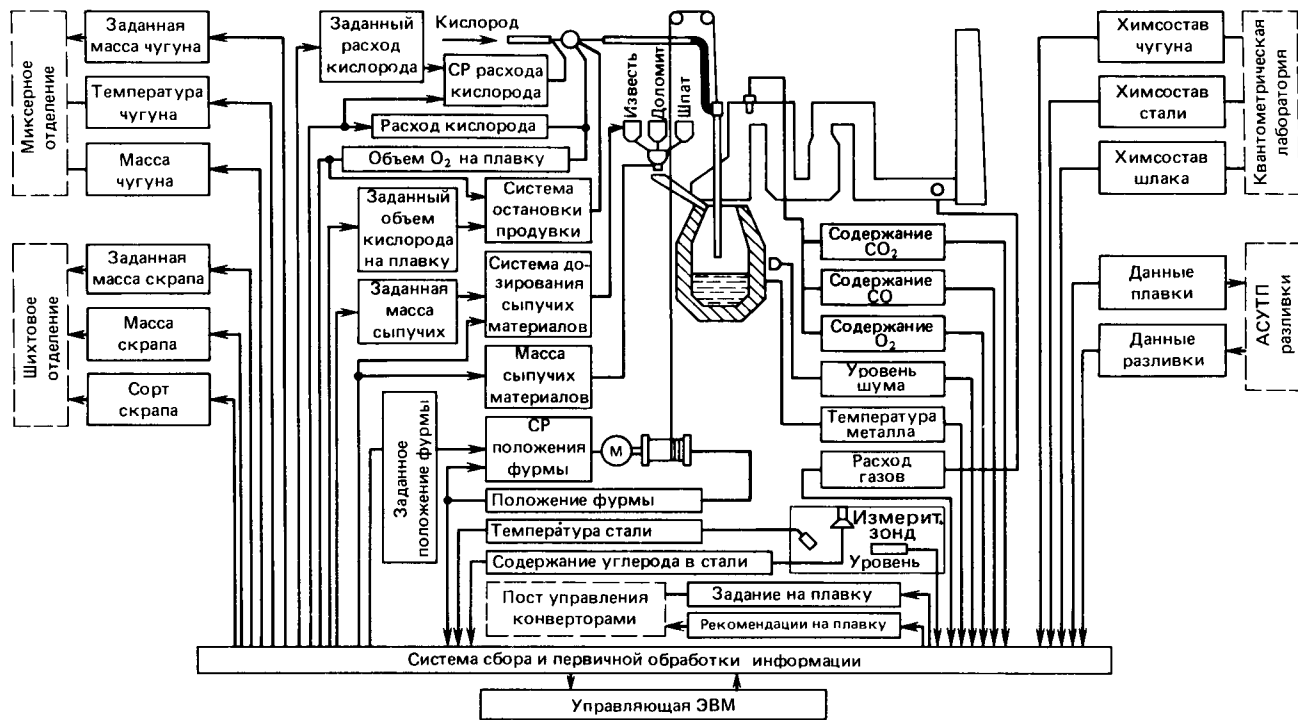


Рис. 3.4. Структура АСУТП плавки

(рис. 3.5). Предусмотрена система аварийной и предупредительной сигнализации.

Локальные системы автоматического регулирования второго уровня (в количестве 28) включают в себя: дозирование сыпучих материалов в конвертер и ферросплавов в сталеразливочный ковш; регулирование расхода кислорода на продувку; регулирование положения продувочной фурмы; перемещения измерительного зонда; регулирование давления конвертерного газа.

Локальные системы обеспечивают высокие точностные характеристики параметров управляемых процессов. Погрешности составляют: взвешивание металлического лома, жидкого чугуна и сыпучих материалов для плавки — $\pm 0,1\%$; измерение расхода кислорода — $\pm 0,2\%$ и стабилизация расхода кислорода на продувку — $\pm 2,5\%$; стабилизация положения продувочной фурмы — ± 30 мм. Точность измерений: температуры ванны с помощью измерительного зонда составляет $\pm 5^\circ\text{C}$; содержания углерода в стали — $\pm 0,02\%$.

С помощью УВМ верхнего уровня осуществляются следующие функции управления: дозирование сыпучих материалов и ферросплавов; расход кислорода на продувку; положение продувочной фурмы.

Ряд систем автоматического контроля и регулирования используют принципиально новые технические решения. Например, система контроля температуры, содержания углерода, уровня ванны и отбора пробы металла без повалки конвертера с помощью измерительного зонда типа K-TLPH фирмы "Крупп" (ФРГ) позволяет уменьшить количество промежуточных повалок конвертера и создать условия для оптимизации продувки плавки [11], [17].

С помощью манипулятора осуществляется погружение в ванну конвертера измерительного датчика (зонда), который насаживается на контактную трубу измерительной фурмы. После выполнения измерения и заполнения камеры (кокиля), предназначенного для отбора проб, датчик вынимается из расплава и снимается посредством специального манипулятора. Часть датчика, содержащая пробу металла, отделяется и загружается в транспортную систему, ведущую в экспресс-лабораторию. Измеренные параметры металла передаются в систему динамического управления плавкой, а также отображаются в цифровом виде на пульте управления конвертером. С помощью специальных датчиков производится измерение высоты уровня расплава.

Измерительная фурма (манипулятор) состоит из следующих основ-

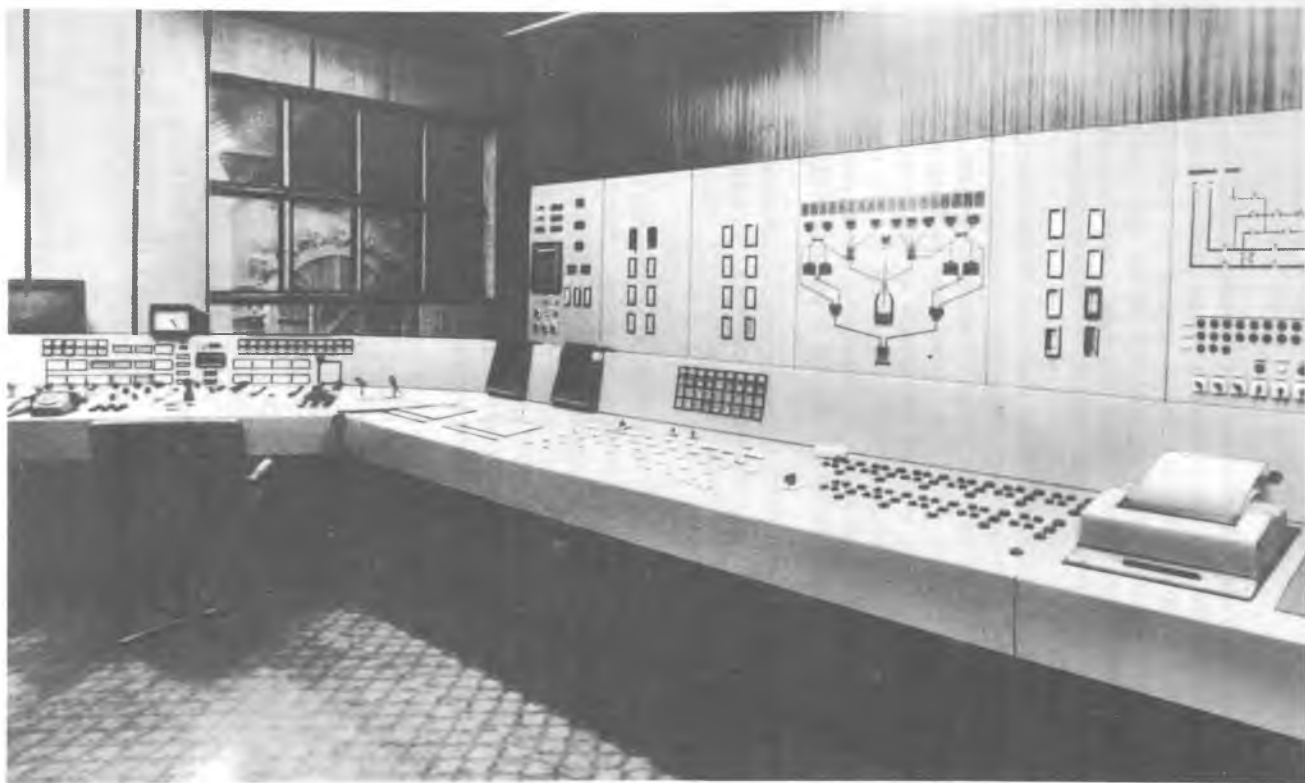


Рис. 3.5. Пост управления конвертером

ных механизмов и узлов (рис. 3.6): привода подъема 1, расположенного на платформе в головной части направляющей колонны; несущей конструкции 2, на которой закреплена направляющая колонна 3; поворотного механизма 4; передвижной каретки 5; измерительной фурмы 6 с контактной трубой 7; насосно-аккумуляторной станции. Кроме того, в состав установки входят: магазин для хранения измерительных датчиков 8; манипулятор 9 для механического и электрического соединений и разъединений датчика с измерительной фурмой; устройство для снятия шлака и металла с измерительной фурмы; пневматическое транспортное устройство (пневмопочта).

Привод подъема передвижной каретки с измерительной фурмой состоит из: электродвигателя постоянного тока с тиристорным управлением; редуктора с двухступенчатой планетарной передачей; канатного барабана, в котором расположен редуктор; дискового тормоза; пневматического двигателя с редуктором и тормозом, используемых в качестве аварийного привода.

Несущая конструкция опирается на трубчатую раму, которая поворачивается специальным рычажным механизмом. Основная стойка рамы закреплена в металлоконструкциях цеха на высотах с отметками +37500 и +56000 мм. Опоры оснащены самоуправляющимися роликоподшипниками. Для компенсации тепловых деформаций и изменений расстояний цеховых конструкций опоры на площадке +56000 мм выполнены плавающими, допускающими осевые смещения ± 50 мм.

Направляющая колонна представляет собой коробчатую сварную конструкцию, вдоль которой перемещается каретка с измерительной фурмой. Направляющая колонна закреплена на двух опорах с самоустанавливающимися роликоподшипниками. Нижняя опора является неподвижной, верхняя — плавающей, допускающей осевое смещение. Два параллельных повода, расположенных на площадке с отметкой +56000 мм, при повороте трубчатой направляющей с направляющей колонной обеспечивают последней только параллельное смещение. На направляющей колонне расположены упоры, удерживающие каретку в крайних положениях.

Для фиксирования (стабилизации) положения измерительной фурмы используется пневматический зажим, закрепленный на направляющей колонне. Поворотный механизм состоит из гидравлического агрегата, блока управления и двух гидравлических цилиндров.

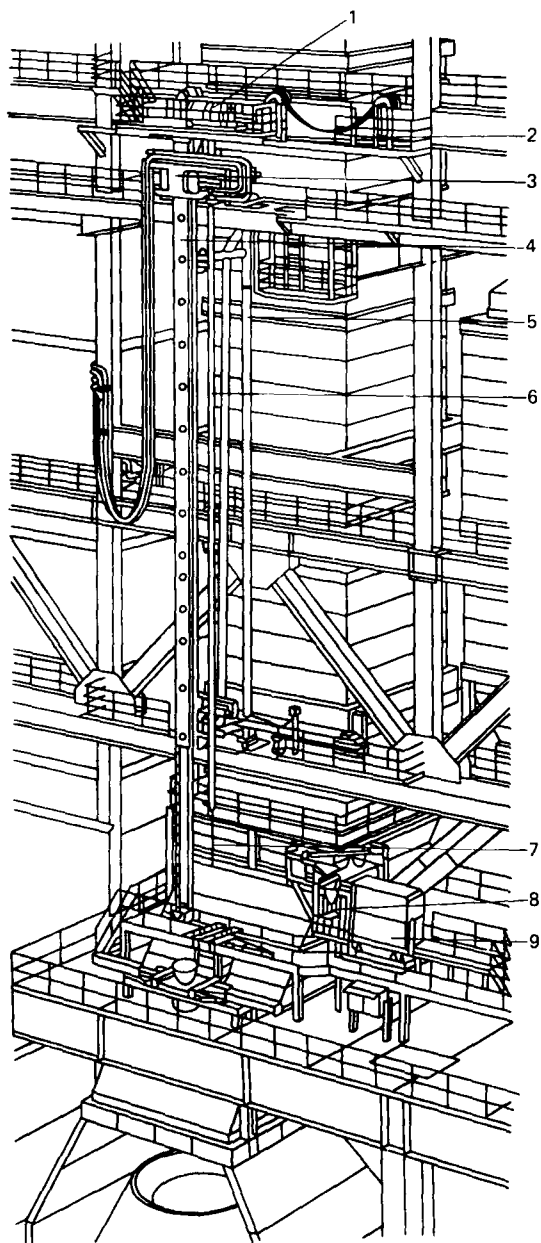


Рис. 3.6. Общий вид установки измерительного зонда

Передвижная каретка выполнена в виде сварной металлоконструкции, на которой расположены две пары роликов и закрепляется измерительная фурма. С помощью привода подъема и двухтросовой подвески передвижная каретка перемещается по направлению к колонне. Каретка оснащена стопорным устройством (зажимами безопасности), останавливающим каретку с измерительной фурмой при скорости, равной трем ускорениям силы тяжести. Стопорное устройство выполнено таким образом, что при обрыве обоих тросов тормозные каретки прижимаются к рельсам посредством сжатых пружин. При обрыве одного троса стопорное устройство не включается.

Измерительная фурма состоит из трех концентрических стальных труб и медной головки. Внешняя труба, имеющая диаметр 177,8 мм, оснащена коническим несущим кольцом и штуцером

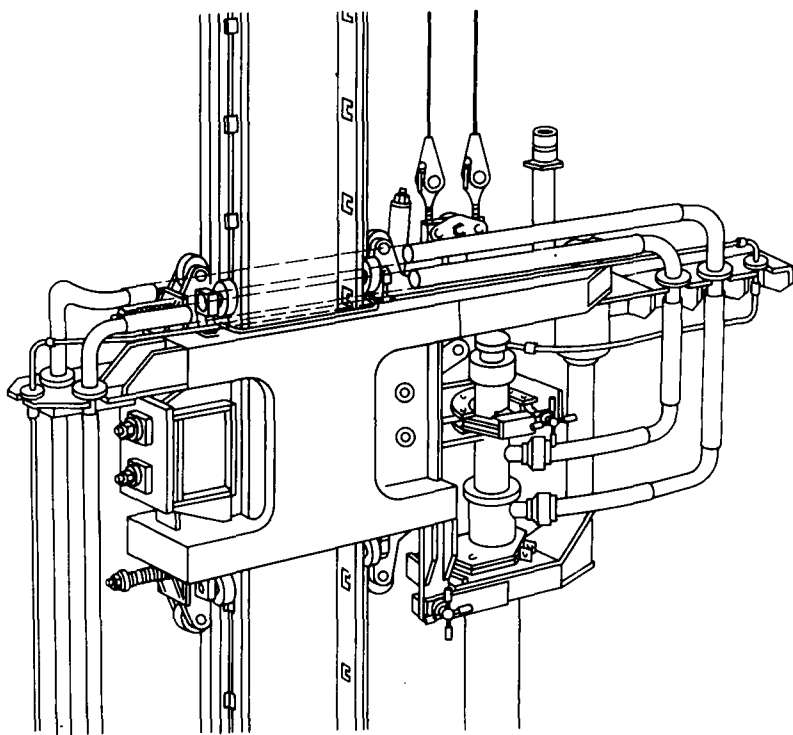


Рис. 3.7. Блок перемещения измерительного зонда

для подвода охлаждающей воды. С помощью несущего кольца измерительная фурма устанавливается на тарелке передвижной каретки (рис. 3.7). Внешняя труба посредством медной головки связана с внутренней трубой, имеющей наружный диаметр 88,9 мм. Между внешней и внутренней трубами располагается разделительная труба. Охлаждающая вода подается по внутренней полости межтрубного пространства и отводится по наружной. На верхнем конце внутренней трубы расположен штуцер для подвода электрических проводов и азота.

На нижнем конце измерительной фурмы закрепляется контактная труба с расположенными внутри проводами измерительных цепей. Контактная труба оснащена разъемом для связи с измерительным датчиком.

Азот, поступающий в измерительную форму, проходит внутри контактной трубы и через кольцевой зазор, образованный между контактным устройством и защитной картонной трубой измерительного датчика, и дегазационные отверстия, выходит наружу.

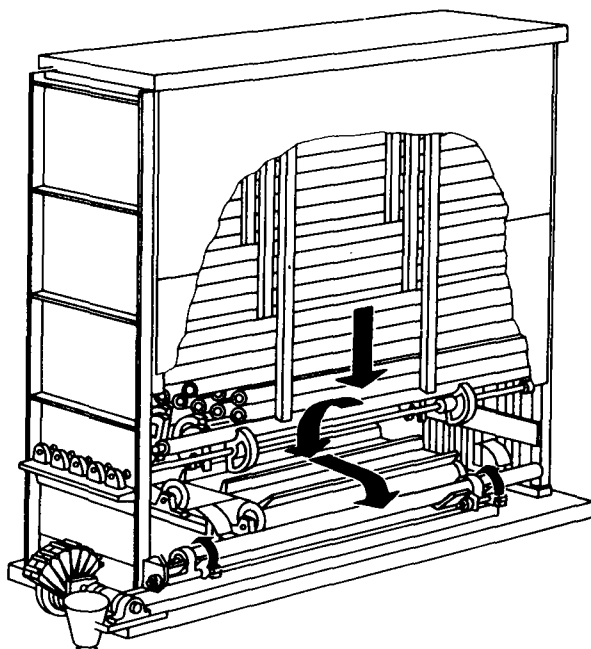


Рис. 3.8. Магазин для хранения измерительных датчиков

С помощью манипулятора измерительные датчики присоединяются к контактной трубе и снимаются после проведения измерения и отбора пробы. Манипулятор управляется с помощью пневматической системы. Для обеспечения правильного соединения измерительного датчика с контактной трубой используется центрирующая воронка. Отделение части датчика, содержащего отобранную пробу металла, производится с помощью пневматической дисковой пилы (рис. 3.8 – 3.14). Отобранная проба пневмопочтой направляется в экспресс-лабораторию цеха. Для складирования и передачи измерительных датчиков в манипулятор используется специальное устройство – магазин.

Применение манипулятора, управляемого локальной микроЭВМ, в комплексе измерительного зонда полностью исключает применение ручного труда в процессе измерения технологических параметров плавки. В случае неисправности измерительной фурмы используется вычислительное устройство, разработанное специалистами комбината.

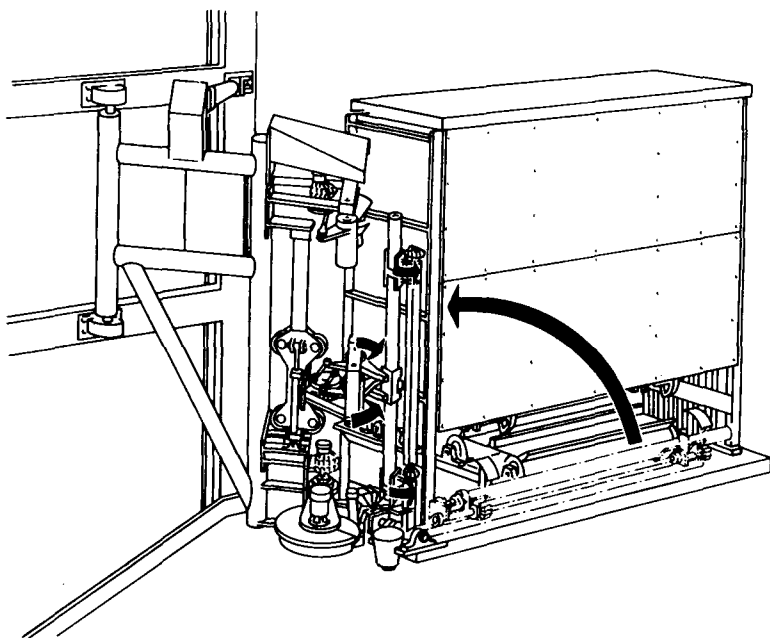


Рис. 3.9. Подготовка измерительного датчика к подключению

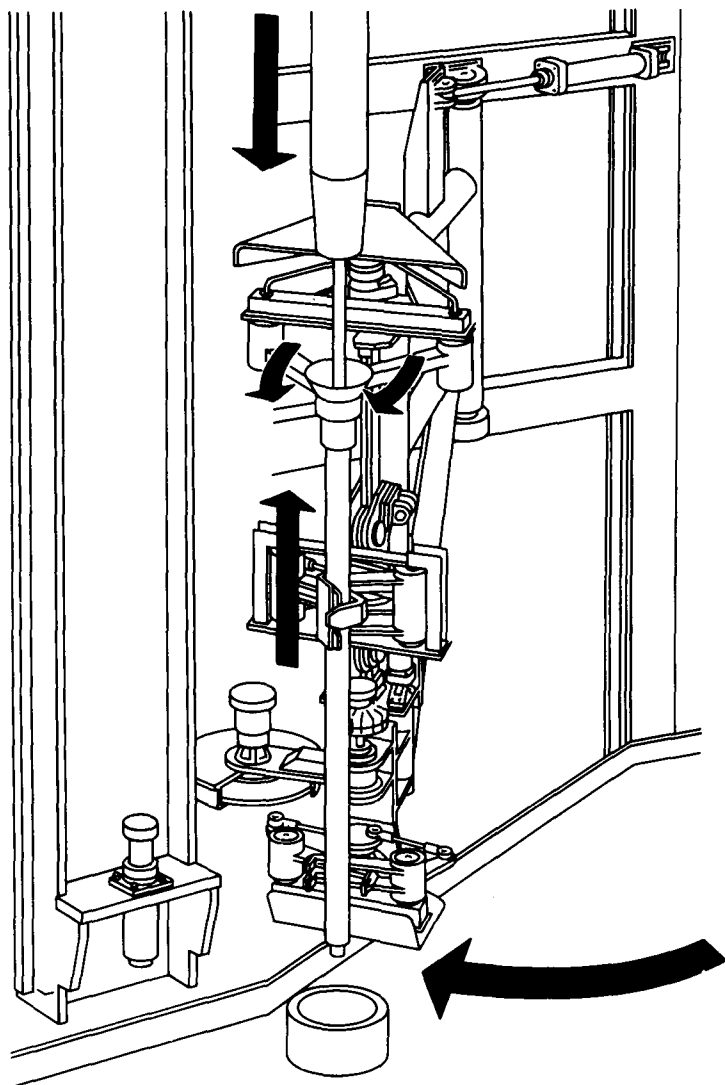


Рис. 3.10. Механическое и электрическое соединение измерительного датчика с контактной трубой

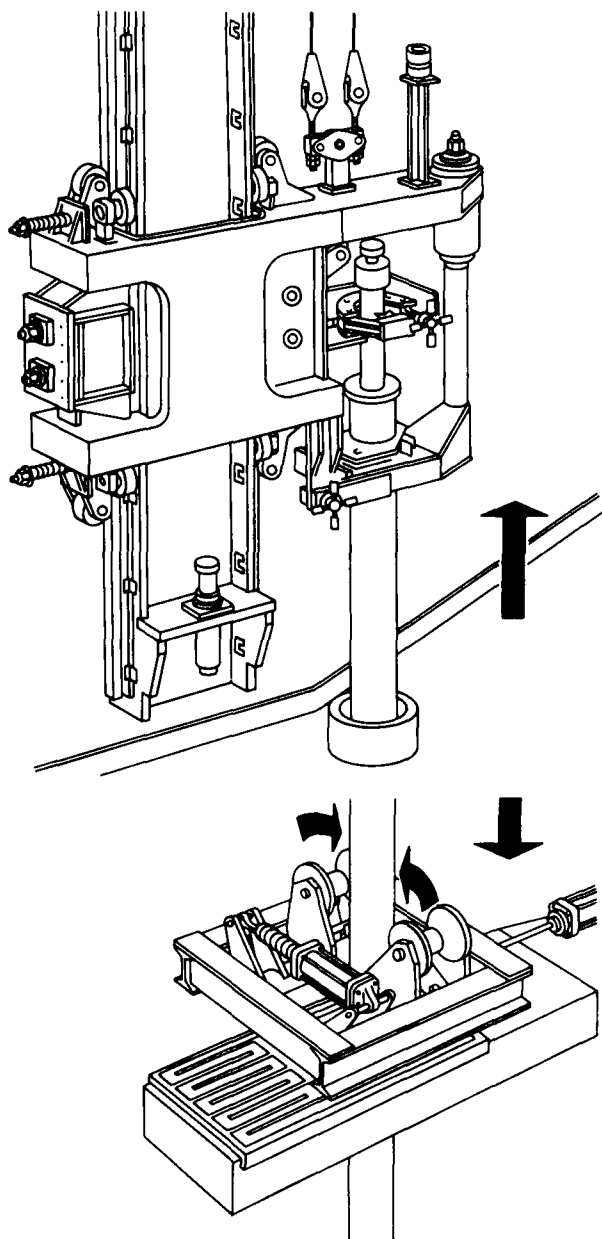


Рис. 3.11. Измерение температуры, содержания углерода и отбор пробы металла с помощью измерительного зонда

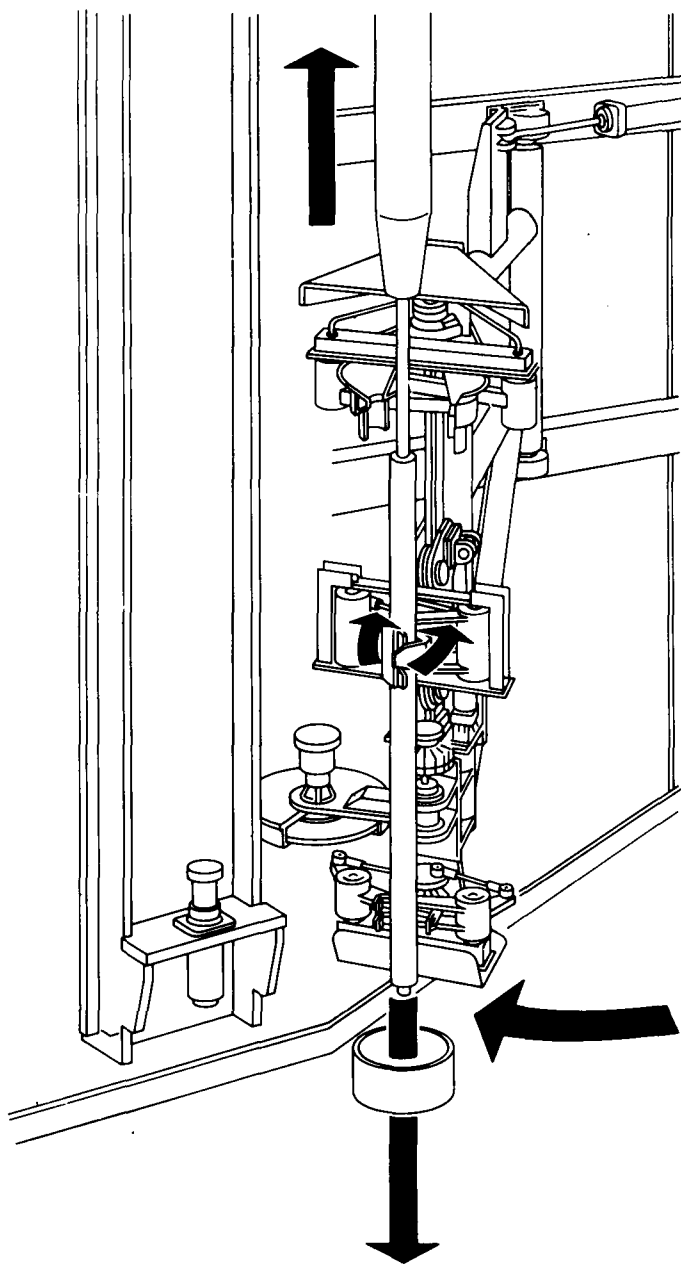


Рис. 3.12. Отсоединение использованного измерительного датчика

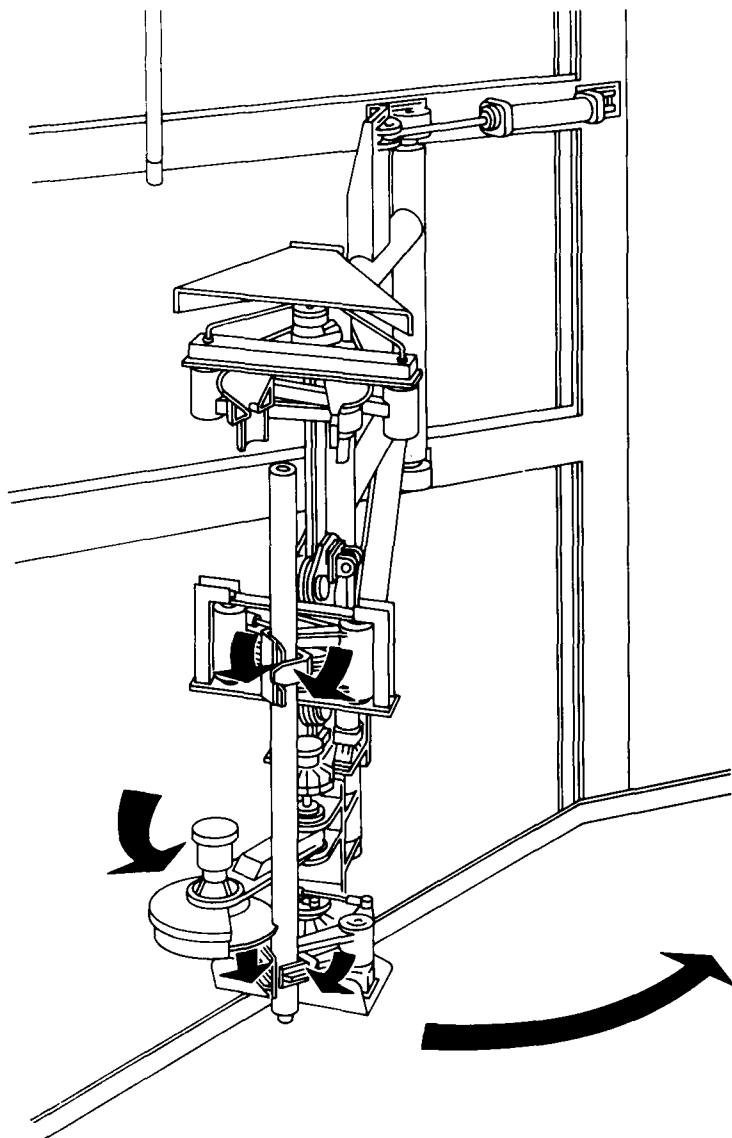


Рис. 3.13. Отделение пробоотборной части измерительного датчика

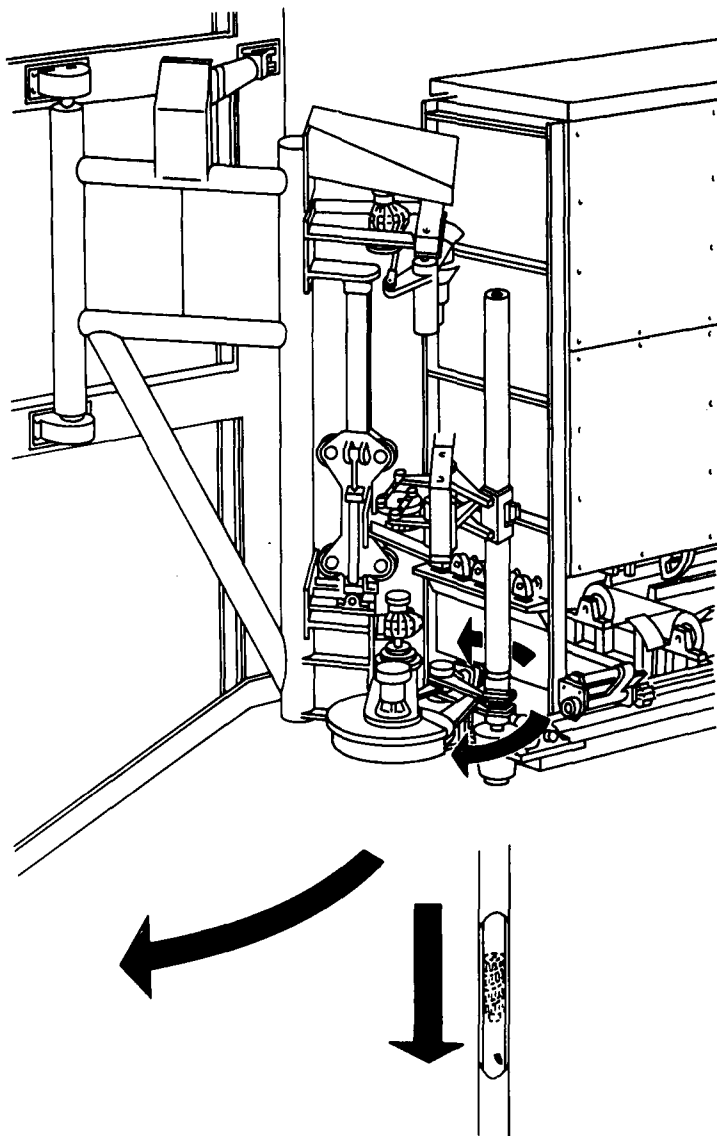


Рис. 3.14. Подача пробоотборной части измерительного датчика в станцию отправления пневмопочты

При повалке конвертера оно обеспечивает обработку сигнала измерения температуры жидкого металла термоэлектрическим преобразователем ТПР-2085. Результаты измерения в цифровой форме передаются в УВМ, с помощью которой реализуется расчет конца продувки и остановки на заданных значениях температуры и углерода.

Аналогичные устройства измеряют температуру в ковше при продувке металла аргоном на установках доводки металла.

С помощью измерительной фурмы проводится контроль глубины ванны конвертера. Измерение основано на разнице между электрическими проводимостями шлака и стальной ванны. С этой целью датчик, оборудованный двумя углеродными электродами, с помощью измерительной фурмы погружается в жидкую сталь. При подъеме датчика регистрируется градиент электрической проводимости между сталью и шлаком. Устройство измерения глубины оценивает расстояние до поверхности жидкого металла. Воспроизводимость измерений не хуже ± 2 см.

Управление подчиненными локальными системами с помощью УВМ позволило вывести оператора конвертера из контура управления. Качественное изменение содержания процесса работы оператора дало ему возможность сконцентрировать свое внимание на существенных моментах плавки, контроле работы оборудования, координации взаимодействия персонала главного поста управления и сталеваров, что в совокупности повышает эффективность работы конвертера и качество получаемой продукции.

Надежная и безаварийная работа котлов ОКГ-400, газоочисток и дожигающих устройств обеспечивается автоматическим контролем основных параметров, системами регулирования, сигнализацией и блокировками, разработанными советскими проектно-конструкторскими организациями.

Основные приборы контроля работы котла ОКГ-400, газоочистки и дожигающего устройства размещены на щитах и пультах поста управления газоотводящим трактом. Часть замеров дублируется на постах управления конвертерами (расход газов, работа дожигающего устройства, газовый анализ после дымососа, замер расхода и давления азота на продувку глухих мест и др.).

Система автоматического управления котлом ОКГ-400 включает в себя: регулирование питания котла в период продувки и межпродувочный период; регулирование непрерывной продувки бара-

бана котла. Котел имеет блокировки — запрет на опускание (подъем) муфты и фурмы и закрытие кислородного клапана, которые срабатывают при достижении аварийных параметров.

На посту управления дымососом размещаются приборы контроля работы нагнетателей. Датчики приборов располагаются по тракту газоочистки на технологических площадках и в помещениях автоматики. Газоотводящий тракт имеет две системы автоматического регулирования: систему регулирования перепада давления на трубе Вентури первой ступени; систему регулирования давления над горловиной конвертера. В дожигающем устройстве на свече используется автоматическая система управления задвижками природного газа и зажигания дожигающего устройства.

Аварийная сигнализация нарушения технологических параметров работы котла, газоочистки и дожигающего устройства представляет собой звуковую и прерывистую световую сигнализацию, вынесенную в помещения постов управления газоотводящим трактом, конвертерами и нагнетателями.

Ввод в эксплуатацию конвертера № 3 осуществлен на основе комбинированной АСУТП плавки. Локальные системы автоматического контроля и регулирования включают в себя советские технические средства. На уровне управления технологическими процессами применяются УВМ фирмы "Сименс".

Автоматизированная система управления технологическими процессами машин непрерывного литья заготовок (АСУТП МНЛЗ) разработана в СССР. Она осуществляет учет, контроль и оперативное управление технологическими процессами производства литых слэбов (рис. 3.15).

Эффективная интеграция технологии, оборудования и комплекса технических средств автоматизации достигнута путем применения новейших методов комплексирования: вычислительной техники, устройств телемеханики, автоматических датчиков и преобразователей, операторских пультов, щитов и шкафов управления, обеспечивающих сбор, обработку и представление оперативной информации в форме, удобной для эксплуатационного персонала. Система работает в реальном масштабе времени при высокой надежности благодаря специальным методам разделения функций комплекса технических средств.

АСУТП обеспечила увеличение производительности МНЛЗ, повышение качества литых слэбов и выхода годного металла, экономию энергоресурсов и электроэнергии.

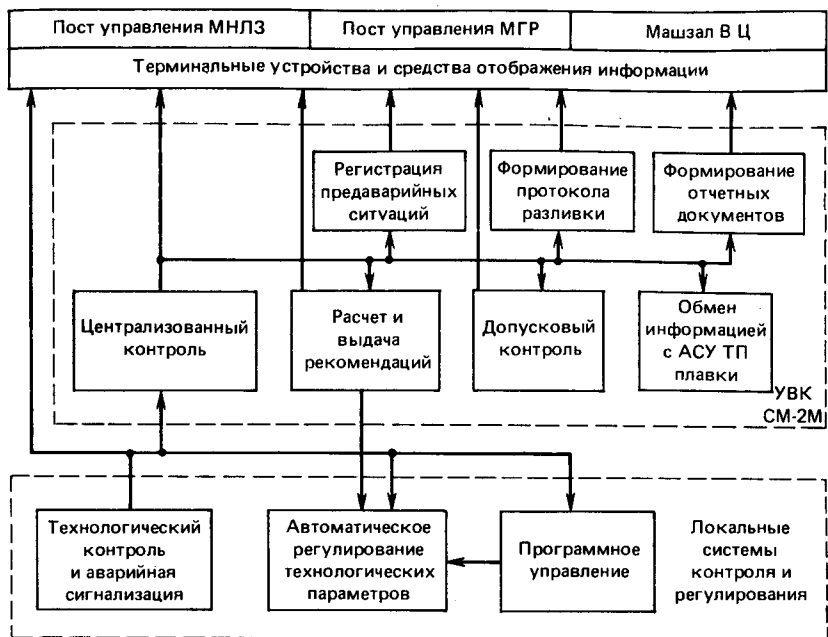


Рис. 3.15. Функциональная структура АСУТП МНЛЗ

В АСУТП МНЛЗ предусмотрен трехуровневый принцип управления: локальные системы контроля; регулирования и центральной управляющий вычислительный комплекс (УВК). В состав локальных систем входят несколько программируемых контролеров и микро-ЭВМ. В качестве УВК используется двухпроцессорный вычислительный комплекс на базе УВМ СМ-2М, установленный в вычислительном центре отделения непрерывной разливки стали.

УВК имеет общую оперативную память, что позволило повысить надежность комплекса и увеличить его быстродействие. Преимущество двухпроцессорных систем в рассматриваемых условиях проявляется в получении значительного запаса по вычислительным возможностям: создание и использование более сложных математических моделей, которые разрабатываются по мере исследования и совершенствования процесса непрерывной разливки стали.

С помощью локальных систем контроля и регулирования АСУТП осуществляют:

- 1) измерения: температуры жидкого металла в сталеразливочном и промежуточном ковшах; массы жидкого металла в сталеразливочном ковше на двухпозиционном стенде в рабочей и резервной позициях; уровня металла в кристаллизаторе, усилия вытягивания слитка, теплового и гидравлического режимов работы кристаллизатора; скорости литья, общей и мерной длины заготовки; расхода и давления охлаждающей воды в зоне вторичного охлаждения; расходов и давлений энергоносителей (азота, кислорода и др.);
- 2) контроль: поверхности слитка под кристаллизатором; расхода и давления воды на машину и экраны; состояния форсуночной системы зоны вторичного охлаждения; наличия металла и положения конца заготовки в МНЛЗ;
- 3) индикацию технологических параметров на крупногабаритном световом табло;
- 4) аварийную сигнализацию технологических параметров;
- 5) регулирование уровня жидкого металла в кристаллизаторе; управление: тепловым и гидравлическим режимом кристаллизатора, зоной вторичного охлаждения, раскроем заготовки.

Благодаря управляющему вычислительному комплексу реализованы следующие функции: централизованный и допусковый контроль технологических параметров разлива; оптимизационные расчеты для управления режимом литья, вторичным охлаждением и раскроем непрерывного слитка; протоколирование процесса разлива и резки металла; отображение информации на терминалах; обмен информацией с АСУТП плавки и системой автоматизированного управления производством конвертерного цеха.

Автоматизированная система управления энергетическим хозяйством конвертерного цеха (АСУТПЭ) осуществляет: централизованный сбор, обработку и отображение информации о состоянии параметров энергетических объектов; оперативный учет поступления и потребления энергоресурсов; оперативное управление энергетическими объектами.

По структуре АСУТПЭ состоит из двух уровней. Нижний уровень включает в себя систему централизованного сбора данных и диспетчерского контроля и управления на базе телемеханики ТМ-301.

На верхнем уровне используется вычислительный комплекс СМ-2. АСУТПЭ также является составной частью интегрированной системы управления производством конвертерного цеха.

Широкое применение в конвертерном цехе нашли крановые весы с индуктивно-петлевой передачей информации фирмы "Метрипонд" (ВР), установленные на скрапных, скрапозавалочных, заливочных и разливающих кранах (табл. 3.3).

Таблица 3.3 Перечень мостовых кранов конвертерного цеха, оборудованных системами взвешивания фирмы "Метрипонд"

Место установки	Назначение	Грузоподъемность, т	Количество
Скрапное отделение	Транспортировка совка со скрапом	200	2
Загрузочный пролет конвертерного отделения	Заливка чугуна	450	3
То же	Завалка скрапа	200	2
Пролет ремонта стале-разливочных ковшей	Литейный	125	3
Пролет внепечной обработки стали	"	500	1
Передаточный пролет	"	500	3

Сигналы, полученные от тензодатчиков, обрабатываются основным измерительным прибором, дешифруются и с помощью антенны через индуктивно-петлевую систему передаются к наземной станции. В наземной станции информация о массе взвешивания груза автоматически контролируется на точность и передается в УВМ, отображается на цифровых табло и приборах вторичной индикации и регистрируется на печатающем устройстве.

3.3 ДИНАМИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКОЙ

Автоматизированная система динамического управления конвертерной плавкой предназначена для автоматизации процессов: подготовки скрапа; перелива чугуна; расчета и управления завалкой, продувкой и подачей сыпучих и легирующих материалов. По ходу

плавки производится сбор данных, характеризующих процесс; данные запоминаются и используются для: автоматической адаптации математических моделей; анализа результатов работы и накопления статистических материалов. Одновременно формируется хронологический протокол с указанием загруженных материалов, масс, значений параметров, времени отдельных фаз процесса и т.д. По окончании плавки и получении информации о химическом составе металла печатаются паспорт плавки, сменные рапорты и др., являющиеся отчетными документами работы конвертерного отделения.

Эффективность автоматизированной системы динамического управления конвертерной плавкой обеспечивается выполнением требований: гарантированной точности попадания в заданные допуски по содержанию углерода и температуре стали (для низкоуглеродистой стали — по температуре) на выпуске с первой продувки; минимального расхода чугуна, скрапа, шлакообразующих, кислорода и легирующих материалов на тонну готовой стали; уменьшения расхода огнеупоров за счет увеличения длительности кампании конвертера; воспроизводимости протекания процесса продувки с минимальным количеством выбросов; высокой надежности технических средств контрольно-измерительных приборов, автоматики и вычислительной техники.

Перечисленные требования удовлетворяются путем стандартизации шихтовки и планов продувки, применением разработанных фирмой "Крупп" математических моделей управления плавкой, а также современных технических средств сбора и обработки информации, поставленных фирмой "Сименс".

Автоматизированная система динамического управления конвертерной плавкой включает в себя локальные системы и комплекс управляющих вычислительных машин. С помощью локальных систем автоматического управления осуществляется взвешивание и загрузка сыпучих материалов в конвертер по ходу продувки и в сталеразливочный ковш; управление расходом кислорода и положением продувочной фурмы; управление измерительным зондом; газовый анализ.

Структура вычислительного комплекса [12] выбрана с учетом высоких требований к надежности его работы (рис. 3.16 и 3.17). Комплекс UBM представляет собой двухуровневую систему (рис. 3.18). На верхнем уровне используются центральные процессоры типа PR330-R30 с объемом оперативного запоминающего устройства 512 килобайт, оснащенные буферными сверхоперативными запо-



Рис. 3.16. Машинный зал АСУТП плавки

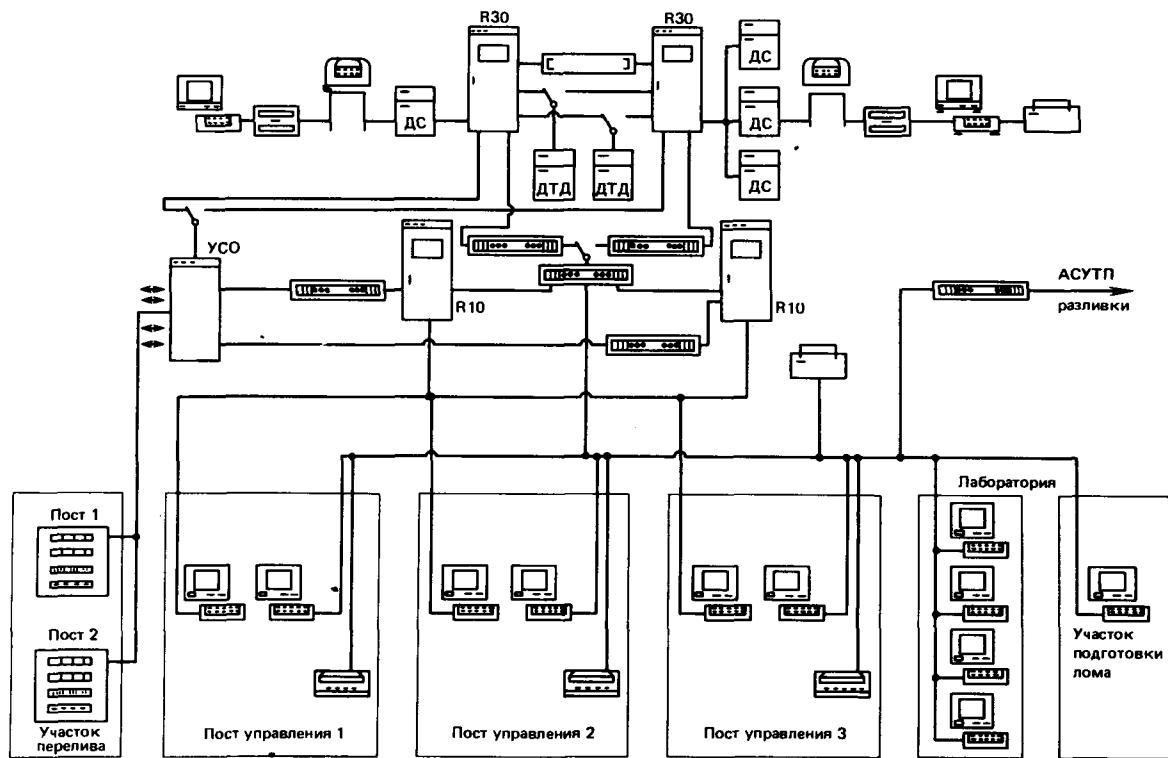


Рис. 3.17. Комплекс технических средств АСУТП плавки:
 ДС – диски системные; ДТД – диски технологических данных

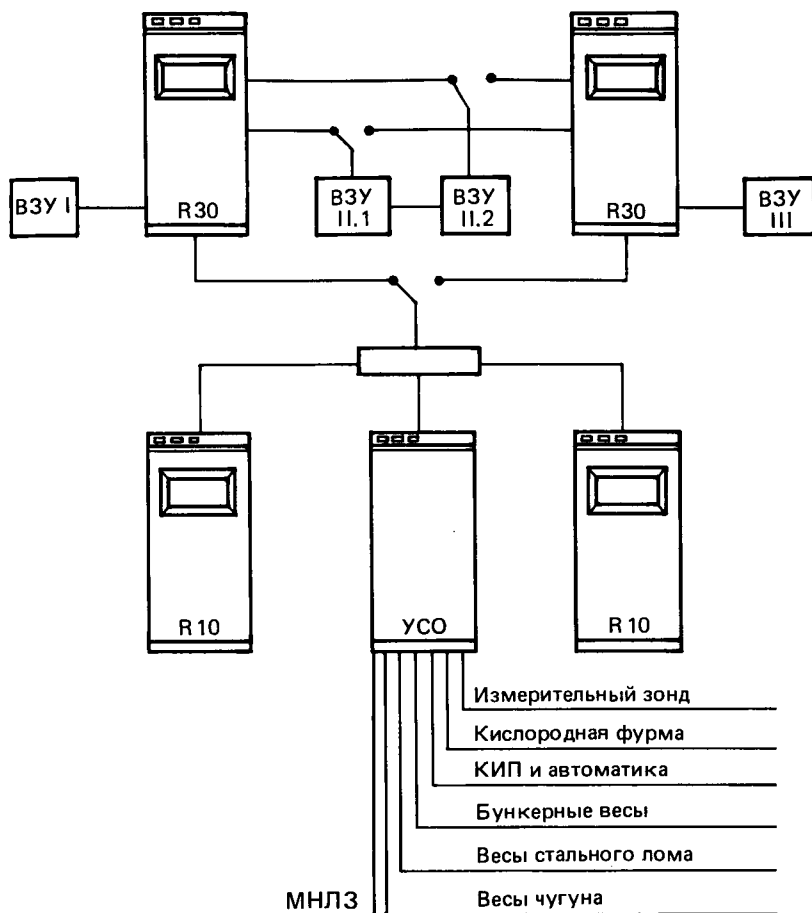


Рис. 3.18. Двухуровневая структура УВМ

минающими устройствами. Общий объем внешних запоминающих устройств (ВЗУ) на магнитных дисках составляет 60 мегабайт, при этом функции отдельных ВЗУ распределены так, что программная система размещается на ВЗУ I (ВЗУ III), а данные — на ВЗУ II.1 (ВЗУ II.2).

При исправном состоянии всех входящих в комплекс устройств процессом плавки управляет УВМ I, причем к ней подключены все

необходимые периферийные устройства, в том числе и ВЗУІ, ВЗУІІ.1 (ВЗУІІ.2). УВМІІ в это время выполняет задачи анализа данных, редактирования и отладки программ и не имеет прямого доступа к процессору. В случае возникновения сбоя в УВМІ происходит автоматический перехват управления УВМІІ, которая с помощью быстродействующих электронных переключателей подключает к себе все периферийные устройства, необходимые для управления процессом. Время переключения составляет 1 мс. После устранения сбоя на УВМІ она снова может взять на себя управление процессом.

Дополнительным фактором повышения надежности системы является дублирование ВЗУІІ, на котором размещены данные системы. Дублирование реализовано таким образом, что выход из строя любого из двух устройств ВЗУІІ.1 или ВЗУІІ.2 не влечет за собой уменьшения работоспособности системы и потери данных. Ремонт вышедшего из строя оборудования производится обслуживающим персоналом без прерывания работы системы.

Для обмена данными по выплавке и разливке стали реализована межмашинная связь PR330-R30 и УВМ автоматизированной системы управления технологическими процессами разливки стали.

На нижнем уровне комплекса применены центральные процессоры типа PR330-R10 с объемом оперативного запоминающего устройства 128 килобайт. Каждая из этих УВМ продувки управляет плавкой в соответствующем конвертере (один конвертер — на ремонте). УВМ продувки получает необходимую информацию через каналы межмашинной связи от УВМ верхнего уровня, активной в данный момент.

При выходе из строя обеих машин верхнего уровня УВМ продувки в состоянии довести начатую плавку до конца; кроме того, она может самостоятельно провести серию плавок, если в них получают одни и те же целевые величины: содержание углерода в стали и температуру на выпуске при неизменной шихтовке. При невыполнении этих условий проведение плавки без участия УВМ верхнего уровня возможно путем ввода ряда данных оператором-технологом (дистрибуторщиком).

Комплекс УВМ продувки состоит только из электронных компонентов; все переключения выполняются автоматически без вмешательства оператора УВМ и не отражаются на ходе процесса управления конвертерной плавкой, что в общем случае обеспечивает ее более высокую надежность по сравнению с УВМ верхнего уровня. Опи-

санная структура значительно повышает живучесть всего вычислительного комплекса в целом и позволяет добиться значения коэффициента готовности комплекса 0,993.

Все программное обеспечение подразделяется на две основные части: системное и прикладное. В состав системного программного обеспечения входят программы, обеспечивающие функционирование вычислительного комплекса, периферийного оборудования и устройства связи с объектом управления. Прикладное программное обеспечение включает в себя системы: слежения за ходом процесса, реализации математических моделей расчета и управления процессом плавки.

Система слежения за ходом процесса организует сбор, хранение и передачу информации о текущем состоянии конвертерного процесса в другую программную систему. Данные представляют собой: перечень активных агрегатов и оборудования (конвертеров, миксеров, скрапных совков, расходных и весовых бункеров, ковшей и др.); информацию о состоянии агрегатов и оборудования (режим работы, фаза процесса и т.д.); массивы данных, хронологически описывающие длительности времен отдельных процессов и характерных периодов плавки; информацию по планируемым плавкам на текущую смену; отчетные данные по законченным плавкам каждого конвертера.

Система слежения за ходом процесса осуществляет организацию диалогов операторов-технологов и операторов УВМ. С помощью системы управления данными, представляющей собой набор программных средств, во внешних запоминающих устройствах УВМ записывается информация, характерная для периодического процесса. Параметры плавки (номер конвертера, текущий номер плавки) записываются в файле системы управления данными как базисные. Параметры качества характеризуются: маркой стали, температурой металла на выпуске, содержанием и допусками по содержанию углерода в стали, пределами по содержанию легирующих элементов в готовой стали.

Применение математических моделей предполагает наличие необходимых для расчета актуальных данных в момент проведения вычислений. В случае задержки их поступления в расчетах используются заменяющие данные, в качестве которых применяются средние значения соответствующих параметров (чугуна, металлического лома, шихты и др.).

Все описанные данные вводятся в УВМ с помощью терминалов в

диалоговом режиме. Различные ситуации (например, отсутствие ввода актуальных данных) сопровождаются комментариями и распечатываются клером.

Важнейшие параметры плавки (температура металла, содержание углерода и марганца в стали, содержание железа в шлаке), характеризующие текущее состояние процесса, выдаются на табло пульта главного поста управления конвертером.

Все операции конвертерной плавки (завалка, подача шлакообразующих, изменение положения кислородной фурмы, старт измерительного зонда и т.д.) в плане продувки привязаны к фазе процесса, определяемой количеством продутого кислорода в процентах. Пересчет указанных в плане продувки процентов кислорода в конкретные значения расхода осуществляется с помощью УВМ по программам, реализующим алгоритмы математических моделей по ходу продувки.

Ввод планов продувки в УВМ, изменение и протоколирование возможно в любой момент времени.

Начало продувки инициируется оператором-технологом путем нажатия соответствующей клавиши на пульте управления, весь процесс протекает автоматически до исчерпания рассчитанного количества кислорода на продувку, после чего продувка заканчивается.

Статические модели процесса позволяют рассчитывать на основе материального и теплового балансов количество шихты, загружаемой в конвертер, и кислорода дутья [3], [14].

Масса извести определяется с помощью балансовых уравнений с учетом требуемой основности шлака:

$$B = \frac{\% \text{CaO}}{\% \text{SiO}_2}; \quad \% \text{CaO} = \frac{\text{CaO}}{Sl} \cdot 100; \quad \% \text{SiO}_2 = \frac{\text{SiO}_2}{Sl} \cdot 100;$$

$$\text{CaO} = \text{CaO}_{\text{шихты}} + \sum_i \% \text{CaO}_i \cdot \text{CaO}_i;$$

$$\text{SiO}_2 = \text{SiO}_{2\text{шихты}} + \sum_i \% \text{SiO}_{2i} \cdot \text{SiO}_{2i};$$

$$Sl = Sl_{\text{шихты}} + \text{Fe}_{sl} \cdot 1,33 + \sum_i i.$$

Здесь B — основность шлака; $\% \text{CaO}$ — содержание окиси кальция в шлаке; $\% \text{SiO}_2$ — содержание кремнезема в шлаке; CaO — масса окиси кальция; $\text{CaO}_{\text{шихты}}$ — масса окиси кальция в шлаках чугуна и скрапа; CaO_i — масса окиси кальция в i -том шихтовом материале

(известь, доломит, плавиковый шпат, охладитель); % CaO_i — содержание окиси кальция в i -том шихтовом материале; SiO_2 — масса кремнезема; $\text{SiO}_{2\text{шихты}}$ — масса кремнезема в шлаках чугуна и скрапа; SiO_{2i} — масса кремнезема в i -том шихтовом материале; % SiO_{2i} — содержание кремнезема в i -том шихтовом материале; Sl — масса шлака; $Sl_{\text{шихты}}$ — масса шлака в шихте (с учетом шлаков в чугуне и скрапе); Fe_{sl} — масса железа в шлаке.

Содержание железа в шлаке определяется по следующему кислородному балансу:

$$\% \text{Fe}_{sl} = \frac{\text{O}_2 \text{Fe} \cdot 100}{231 \cdot Sl};$$

$$\text{O}_2 \text{Fe} = \text{O}_{2\text{шихты}} + \text{O}_{2\text{прод.}} + \text{O}_{2\text{охл.}} \cdot 700 - \text{O}_{2\text{C}}.$$

Здесь $\text{O}_{2\text{шихты}}$ — содержание кислорода в шлаках чугуна и скрапа; $\text{O}_{2\text{прод.}}$ — кислород продувки; $\text{O}_{2\text{охл.}}$ — содержание кислорода в охладителях; $\text{O}_{2\text{C}}$ — количество кислорода, использованного на окисление углерода.

Для повышения точности расчетов статистические модели адаптируются к конкретным условиям работы конвертерного отделения.

Динамические модели используют информацию измерительного зонда, получаемую в ходе процесса, в виде обратной связи с целью более точного достижения заданных значений конечных выходных параметров (рис. 3.19). Упрощенный материальный и тепловой балансы и скорость окисления углерода представлены ниже [13]:

$$\begin{aligned} WA = St \cdot C_{\text{Fe}} \cdot T + Sl \cdot C_{sl} \cdot T + \Delta C \frac{22,4}{12} \left(\frac{\% \text{CO}}{100} C_{\text{CO}_2} + \right. \\ \left. + \left(1 - \frac{\% \text{CO}}{100} \right) C_{\text{CO}_2} \right) \cdot \frac{T_s + T}{2} + V; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} WE = (St + \Delta C + \Delta \text{Fe}) C_{\text{Fe}} T_s + (Sl - 1,33 \cdot \Delta \text{Fe}) \times \\ \times C_{sl} T_s + \Delta C \left(\frac{\% \text{CO}}{100} \Delta H_{\text{CO}} + \left(1 - \frac{\% \text{CO}}{100} \right) \Delta H_{\text{CO}_2} + \right. \\ \left. + \Delta \text{Fe} \cdot 1,33 \Delta H_{\text{FeO}_n} \right); \end{aligned}$$

$$WA = WE;$$

$$\text{O}_2(\text{C}) = \Delta C \left(\frac{\% \text{CO}}{100} \cdot \frac{1}{2} + \left(1 - \frac{\% \text{CO}}{100} \right) \right) \frac{22,4}{12};$$

$$\text{O}_{2(\text{Fe})} = \Delta \text{Fe} \cdot 0,33 \cdot 22,4/32;$$

$$\Delta C = (St + \Delta C + \Delta \text{Fe}) \cdot \% C_s / 100 - St (\% \text{C}/100).$$

Здесь WA — выход тепла; WE — поступление тепла; St — масса стали; Sl — масса шлака; ΔC — количество углерода, окисленного после измерения (измерительным зондом); ΔFe — количество железа, окисленного после тех же измерений; C_{Fe} — среднее удельное тепло стальной ванны; C_{sl} — среднее удельное тепло шлака; T_s — температура стальной ванны при измерении; N — текущая температура ванны; $1,33$ — отношение $\% FeO_n / \% Fe$; $0,33$ — отношение $\% O_n / \% Fe$; $\% CO$ — содержание CO в отходящих газах; C_{CO} — среднее удельное тепло от CO; C_{CO_2} — среднее удельное тепло от CO_2 ; ΔH_{CO} — энтальпия от реакции C в CO; ΔH_{CO_2} — энтальпия от реакции C в CO_2 ; ΔH_{FeO_n} — энтальпия от реакции Fe в FeO_n ; $O_2(C)$ — расход кислорода на образование CO и CO_2 из C; $O_2(Fe)$ — расход кислорода на образование FeO_n из Fe; V — потери вследствие конвекции и радиации; $\% C_s$ — содержание углерода в ванне при измерении; $\% C$ — текущее содержание углерода.

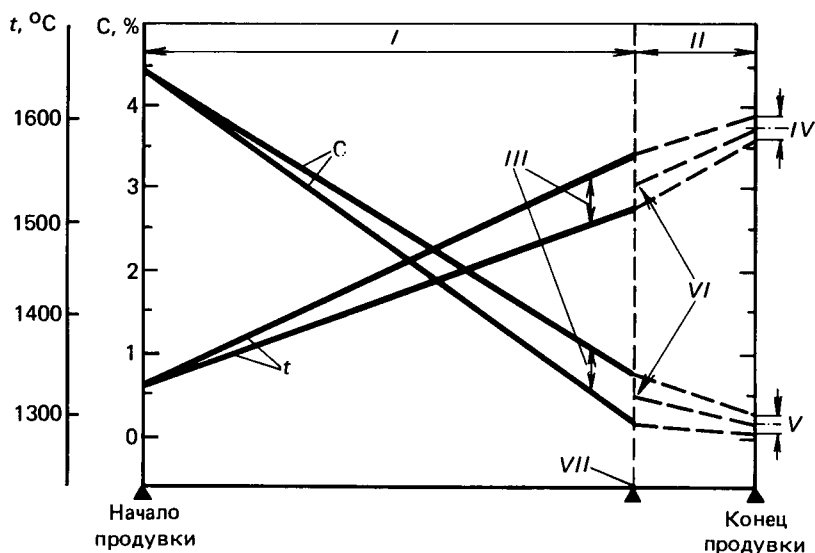


Рис. 3.19. Использование математических моделей для управления плавкой: I — область статического управления; II — область динамического управления; III — варианты получения заданных величин вследствие ошибок измерений; IV — заданный допуск по температуре $\pm 12^\circ C$; V — заданный допуск по углероду $\pm 0,02\%$; VI — коррекция отклонений заданных величин; VII — измерение во время продувки [15]

Упрощенное представление окисления углерода, основанное на данных измерительного зонда, приведено в виде следующих уравнений:

верхний предел к критическому содержанию углерода

$$O_2(C) = O_2; O_{2(Fe)} = O;$$

при критическом содержании углерода

$$\begin{aligned} - \frac{d\%C}{dz} &= k (\%C - \%C_{Ge}) = \\ &= \frac{100 \cdot Oz}{St_K \left[\frac{\%CO}{100} \cdot \frac{1}{2} + \left(1 - \frac{\%CO}{100}\right) \right] \frac{22,4}{12}}; \end{aligned}$$

после достижения критического содержания углерода к концу продувки

$$O_2 = O_2(C) + O_{2(Fe)};$$

$$- \frac{d\%C}{dz} = k (\%C + \%C_{eq});$$

$$z_K = \frac{1}{k} \ln \frac{\%C_K - \%C_{eq}}{\%C - \%C_{eq}};$$

$$O_2 = Oz \cdot z_K,$$

где O_2 — расход кислорода; $\%C_K$ — критическое содержание углерода; $\%C_{eq}$ — равновесное содержание углерода; z — время продувки; k — константа; z_K — время продувки после получения критического содержания углерода; Oz — расход кислорода в единицу времени; St_K — масса стальной ванны при критическом содержании углерода.

Очередность реализации комбинированных моделей по ходу плавки представлена на рис. 3.20. С помощью статических моделей E , N , H и K (рис. 3.21, 3.22) проводится расчет массы стального лома, жидкого чугуна, шлакообразующих материалов, охладителей и количества кислорода продувки. Динамические модели z , BE реализуют расчет момента конца продувки, обеспечивающего получение заданных параметров металла. Отличительной особенностью моделей, построенных на основе уравнений материального и теплового балансов, является использование в них результатов исследований физической химии и термодинамики сталеплавильных

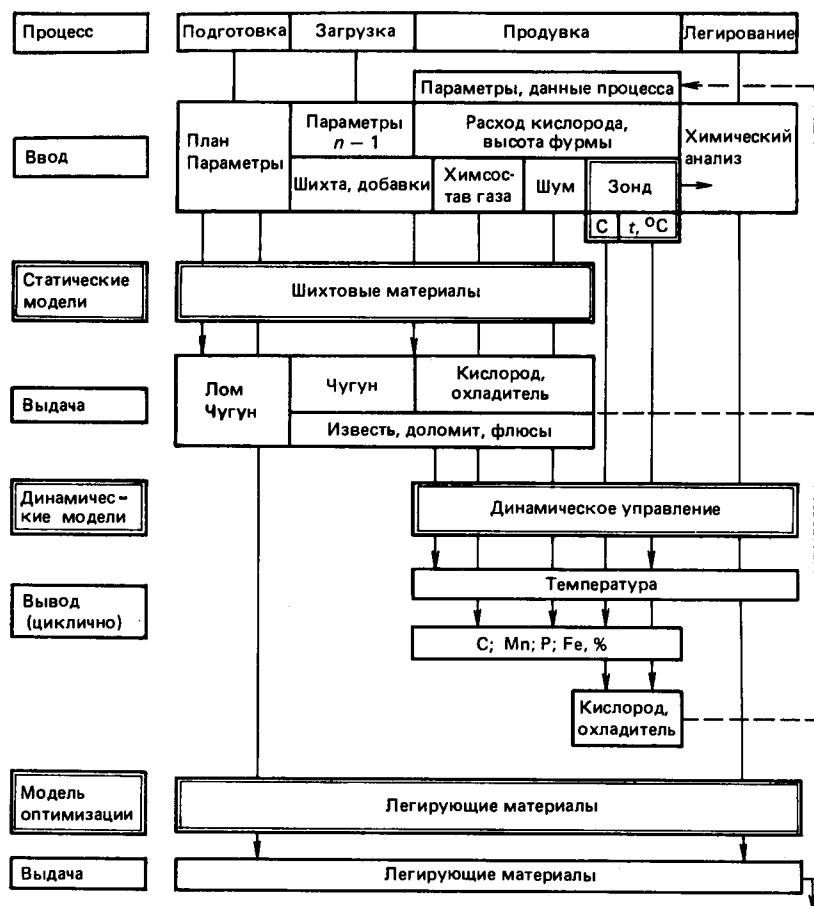


Рис. 3.20. Структура процесса управления конвертерной плавкой

процессов. Это способствует получению более точных результатов в расчете количества материалов для плавки.

С помощью оптимизационной модели L рассчитывается количество легирующих материалов, загружаемых в ковш. Модель E служит для расчета на основе материального и теплового балансов масс стального лома и чугуна, а также предварительного количества охладителей, сыпучих материалов и кислорода продувки. При изменении заданных величин благодаря модели E выполняются

многократные пересчеты. Отсутствующие актуальные значения параметров (масса стали, химический анализ и температура чугуна и др.) в модели дополняются эквивалентными величинами.

Задачей модели *N* является расчет материально-теплового баланса плавки после начала продувки. В результате вычислений определяются остаточные члены уравнений материального (по железу и шлаку) и теплового балансов.

По вспомогательной обучающейся модели *H* на основе данных предыдущих плавков усредняются величины остаточных членов и определяются параметры для автоматической адаптации уравнений материального и теплового балансов текущей плавки. Адаптация модели по результатам предшествующих плавков наиболее эффективна при ритмичной работе, в этом случае параметры адаптации имеют усредненные значения с минимальными дисперсиями.

С помощью модели *K* производится коррекция массы сыпучих материалов и количества кислорода продувки, определенных моделью *E*. Для модели *BE* рассчитываются параметры материального (использование стального лома, чугуна, сыпучих материалов) и теплового (общее физическое и химическое тепло шихты) балансов.

Модель *Z* запускается через 2 – 3 с от начала плавки до выпуска металла из конвертера в циклическом режиме. Входными параметрами модели являются: химический состав конвертерного газа и его расход; сигналы, характеризующие уровень шума в конвертере; температура охлаждающей кислородную фурму воды и ее расход; расстояние сопел фурмы от зеркала ванны. Выходная величина модели определяет расчетное (теоретическое) содержание углерода в металле после достижения критической точки. Фактическое значение содержания углерода ванны, полученное с помощью измерительного зонда, учитывается в последующих циклических расчетах. Интегральные параметры отходящего газа используются в модели *N*; величины, характеризующие скорость обезуглероживания, шум в конвертере — в модели *BE*.

Модель *BE* применяется для расчета момента окончания продувки, при этом определяются окончательные уставки общего количества кислорода продувки и массы корректирующего охладителя. Входные параметры расчета поступают от решения моделей *K*, *Z* и измерительного зонда. На основании данных измерительного зонда производится коррекция расчета теплового баланса и баланса углерода плавки. Благодаря автоматической синхронизации нагрева и обезуглероживания металла обеспечивается возможность дости-

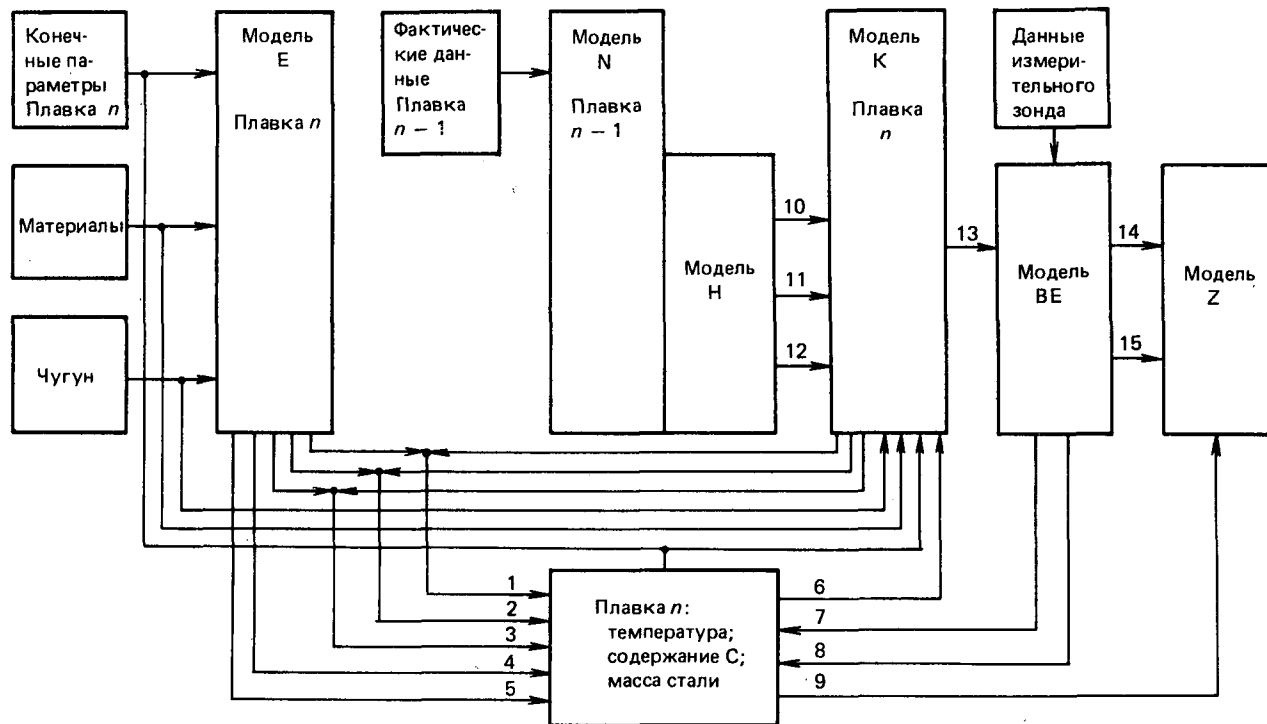


Рис. 3.21. Структура математических моделей управления конвертерной плавкой:

1 – расчетное количество кислорода на продувке; 2 – расчетная масса сыпучих материалов; 3 – расчетная масса охладителя; 4 – расчетная масса чугуна; 5 – расчетная масса стального лома; 6 – фактические данные; 7 – расход кислорода; 8 – масса охладителя; 9 – периодические данные; 10 – параметр коррекции баланса по Fe; 11 – параметр коррекции баланса по шлаку; 12 – параметр коррекции баланса по теплу; 13 – актуальные данные балансов; 14 – коррекция балансов; 15 – конечные параметры процесса

жения заданных параметров стали с высокой степенью надежности (рис. 3.23).

На рис. 3.24 представлены результаты вычислений по модели *BE*. Сплошная кривая характеризует температуру металла, штриховая – содержание углерода. Точность расчетов температуры металла и содержания углерода проверялась с помощью измерительного зонда (ИЗ). Разница между расчетом и измерением (анализом пробы) находится в пределах допуска $\pm 12^{\circ}\text{C}$ и $\pm 0,02\%$ С, что соот-

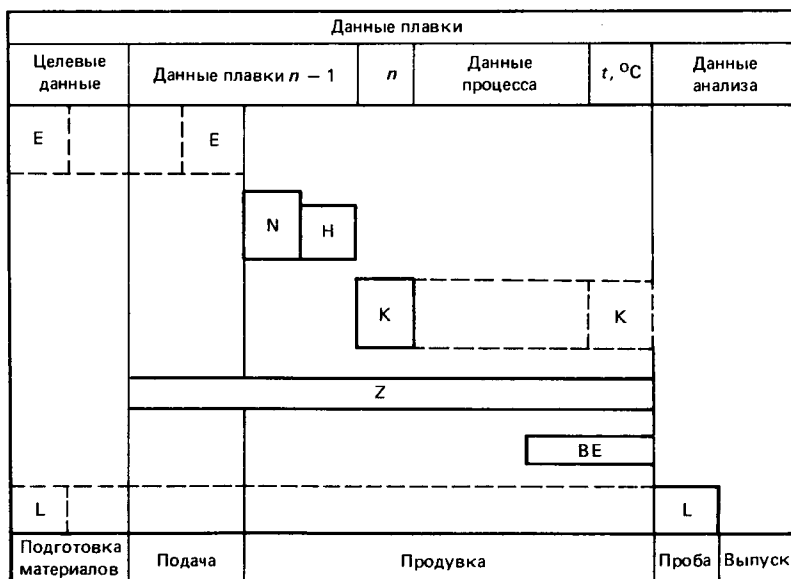


Рис. 3.22. Схема использования математических моделей управления конвертерной плавкой

ветствует международному стандарту. Точность расчета температуры по модели составляет 95 %, содержание углерода — 98,5 %. Точность одновременного попадания в заданные пределы по температуре и содержанию углерода — не менее 93 %.

Наряду с расчетом момента окончания продувки модель *BE* позволяет определять параметры, характеризующие актуальное состояние плавки. Оператор-технолог получает следующие расчетные данные: температура металла, содержание углерода и марганца в стали, содержание железа в шлаке.

При доводке металла по химическому составу легирующими материалами используется модель *L*, которая запускается до начала плавки, при этом определяются предварительно количества легирующих материалов, необходимых для загрузки печей прока-

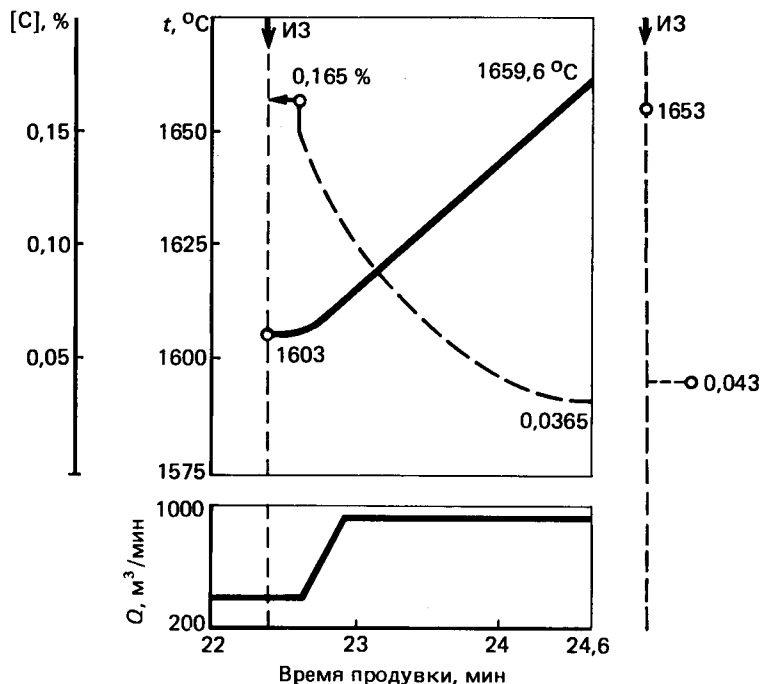


Рис. 3.23. Расчетные и измеренные значения температуры и содержания углерода в конце продувки металла кислородом (0,043 % С — химический анализ пробы)

ливания. После получения анализа химического состава пробы металла, взятой с помощью измерительного зонда, вычисляются количества легирующих материалов для подачи непосредственно в сталеразливочный ковш. Расчет легирующих материалов производится по симплексному алгоритму. В качестве целевой функции расчета используется функция, минимизирующая стоимость комбинации легирующих материалов.

Измерение уровня звука работающего конвертера создает информацию, используемую для управления процессом. Акустический шум вызывается следующими источниками: струями дутья при их выходе из фурмы и ударе о поверхность ванны, генерацией конвертерных газов, горением оксида углерода в полости конвертера и над его горловиной.

Спектральный состав и уровень интенсивности звука зависят от состояния и количества шлака и скорости обезуглероживания. Из спектрального диапазона с помощью микрофона, установленного в районе горловины конвертера, и специального усилителя выделяются сигналы, наиболее качественно оценивающие ход шлакообразования. На рис. 3.25 приведена структурная схема контроля акустического шума конвертера.

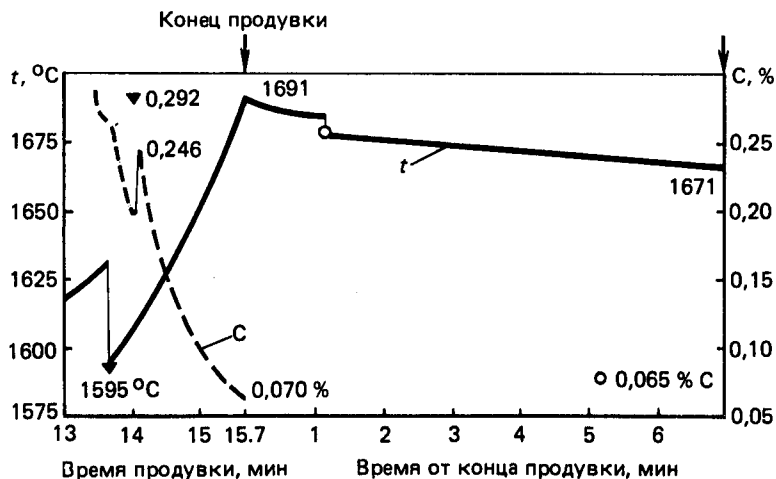


Рис. 3.24. График нагрева металла в конвертере:
 ▼ — измерение (анализ) измерительным зондом; ○ — при повалке конвертера

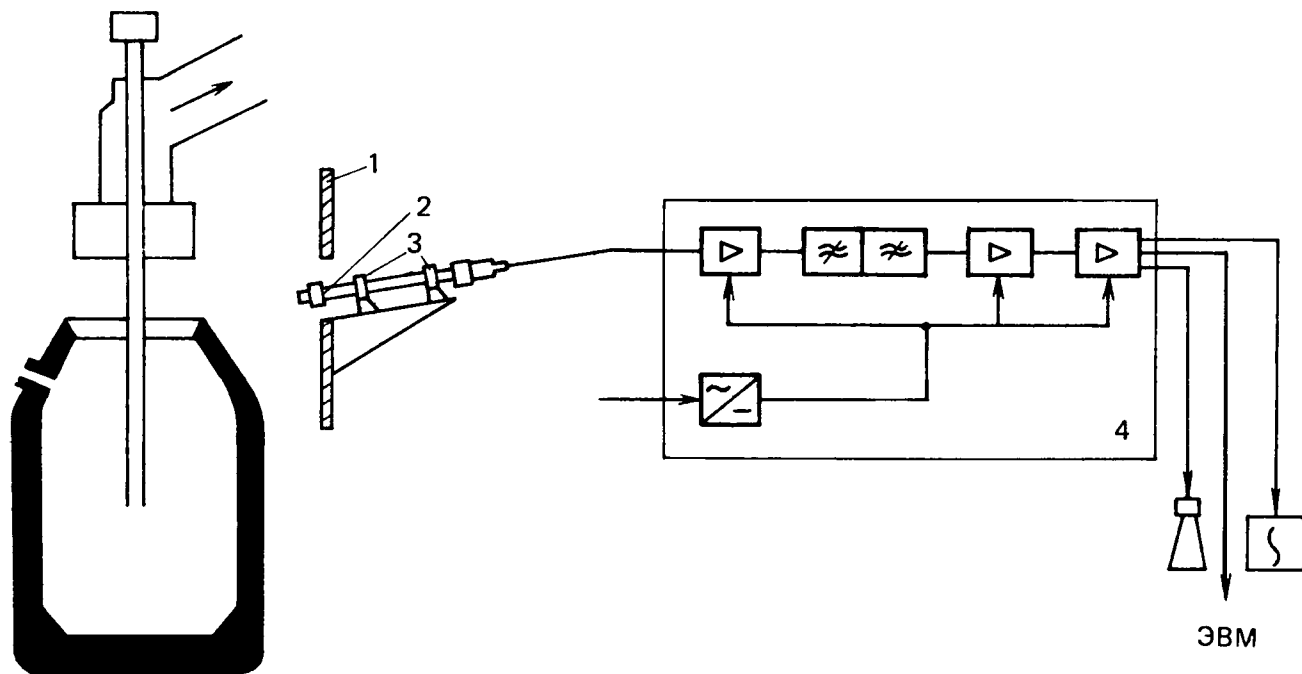


Рис. 3.25. Структурная схема контроля акустического шума конвертера:
 1 – защитный кожух; 2 – микрофон; 3 – вибраторы; 4 – усилитель

4 ШИРОКОПОЛОСНЫЙ СТАН 2000 ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

Автоматизированный с участием фирмы "Сименс" современный высокопроизводительный широкополосный стан 2000 горячей прокатки представляет собой технологический комплекс, полностью управляемый от УВМ. Математические модели, отражающие характер и степень взаимосвязи основных параметров оборудования стана с параметрами обрабатываемого металла на всех этапах технологического процесса, составляют основу управления агрегатами.

Автоматическое управление работой участка нагревательных печей обеспечивает требуемое качество нагрева металла с переменными геометрическими и теплотехническими параметрами и изменяющимся темпом выдачи заготовок из печей.

Применение АСУТП на клетях черновой группы стана гарантирует стабильность и точность размеров раската. Автоматизированная чистовая группа клеток обеспечивает высокое качество готовых горячекатаных полос и производительность широкополосного стана. Автоматическое управление отводящим рольгангом и моталками определяет эффективность охлаждения полос и надежную работу оборудования.

Современный цех для производства широких горячекатаных полос представляет собой многоуровневую организационно-техническую систему, отдельные части которой находятся в сложной взаимосвязи и постоянном взаимодействии. Высокая техническая и экономическая эффективность управления такой системой достигается на основе АСУТП.

4.1 ОБОРУДОВАНИЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Четыре нагревательные печи¹ с шагающими балками (рис. 4.1), установленные перед широкополосным станом 2000, обеспечивают заданный режим нагрева стали широкого сортамента в катаных

¹ Пятая находится в стадии строительства.

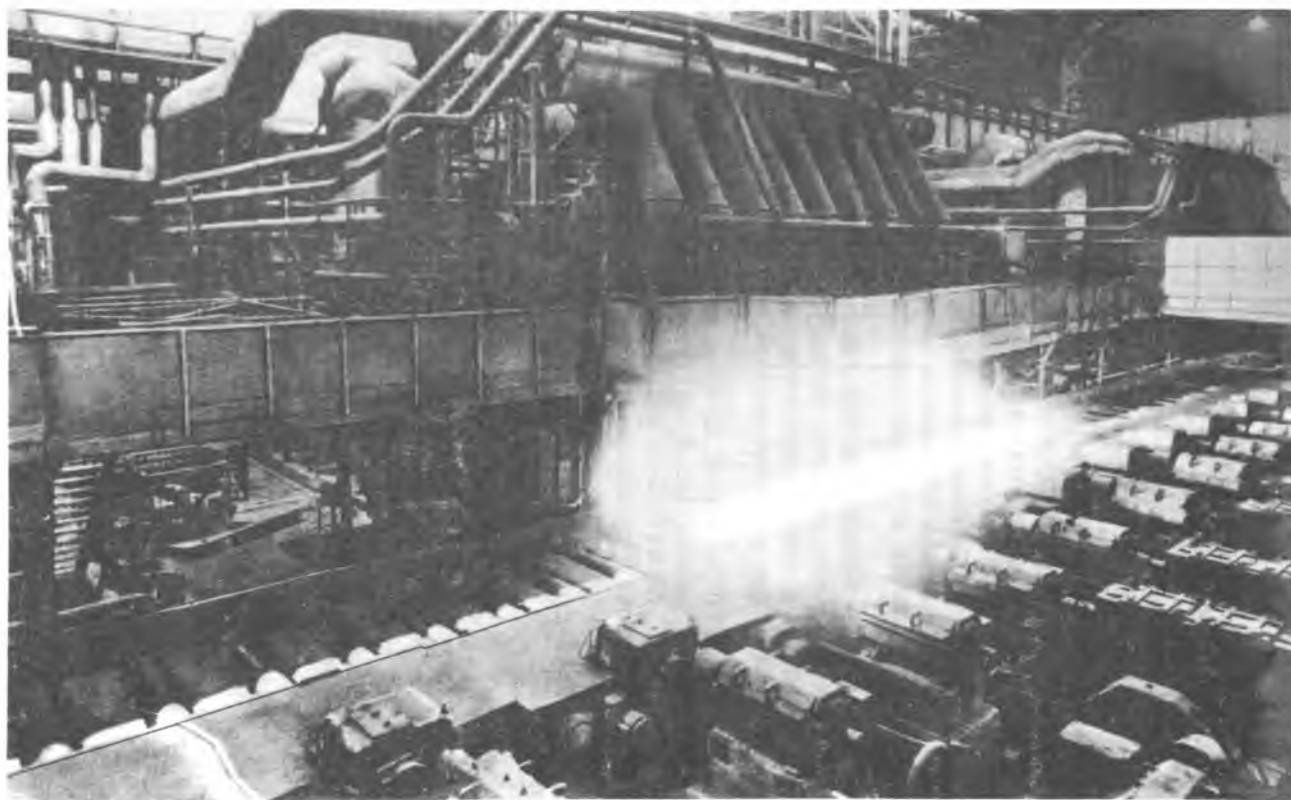


Рис. 4.1. Общий вид нагревательной печи

и литых слябах массой до 40 т с максимальной производительностью при холодном посаде по 420 т/ч. Площадь пода каждой печи: габаритная — 560 м², активная — 500 м²; расстояние между осями роллангов загрузки и выдачи — 57 м.

Внутреннее пространство печи разделено по высоте на верхнюю и нижнюю области подвода тепла к металлу. Каждая область состоит из трех зон, расположенных по длине печи и на всю ширину ее, и двух, делящих ширину томильного участка пополам. Таким образом, рабочее пространство печи состоит из десяти зон.

Топливом для печей служит природный газ с теплотой сгорания 34,0 — 35,5 МДж/м³. В верхние зоны печи он поступает через 36 длиннопламенных горелок производительностью 225 — 450 м³/ч каждая, установленных в торцевых стенках, образованных пережимами свода. В нижние зоны природный газ поступает через 46 горелок с регулируемой длиной факела (пламени) производительностью 370 — 600 м³/ч, установленных в боковых стенах печи. Максимальный расход природного газа на печь составляет 33×10^3 м³/ч. Воздух подогревается до 400°C в металлических рекуператорах, установленных с обеих сторон печи в торце загрузки. Максимальный расход воздуха — $34 \cdot 10^4$ м³/ч. Продолжительность нагрева слябов в зависимости от их типоразмеров и марки стали — от 1,5 до 4 ч.

Возможность независимого регулирования количества топлива, подаваемого в каждую зону, создает благоприятные условия для нагрева металла в соответствии с требованиями к распределению температуры по толщине и длине слябов, а также в соответствии с их типоразмерами, сортаментом готовой продукции и теплофизическим состоянием печи. Этому способствует то, что влияние поданного в любую зону печи топлива на температуру в несколько раз сильнее, чем взаимное влияние температур внутреннего пространства смежных зон. Каждая печь оборудована двумя котлами-утилизаторами КУ-150, расположенными за печью. Продукты сгорания удаляются в дымовую трубу высотой 150 м, общую на две печи. Шагающие балки имеют гидравлический привод, вертикальный ход их 200 мм, горизонтальный — 480 мм.

К поверхности балок через каждые 300 мм приварены рейтеры длиной 150 и высотой 80 мм. Рейтеры изготовлены из жаропрочной и износостойкой стали и защищают балки от повреждения, а слябы — от охлаждения в местах контакта с ними. Остальная поверхность рамных конструкций, за исключением неподвижных стоек, теплоизолирована специальными блоками; неподвижные

стойки изолированы каолиновой ватой с фасонным шамотным или хромомagneзитовым кирпичом.

Охлаждение шагающих и стационарных балок — испарительное, давление пара 1,8 МПа (18 атм). В системе охлаждения применяется принудительная циркуляция пароводяной смеси с циркуляционными насосами 10НКУ-7-2 производительностью 500 м³/ч, напором 0,75 МПа ($75 \cdot 10^3$ мм вод. ст.) и мощностью 160 кВт.

Разработано специальное шарнирное соединение труб шагающих балок, которое дает возможность работать при высоких давлениях и температурах. Применение установки испарительного охлаждения позволяет использовать тепло системы охлаждения для производства пара, снижать расход топлива и воды, увеличивать срок службы охлаждаемых элементов.

Технология нагрева слэбов и расположение оборудования печного участка (рис. 4.2) приведены ниже.

Слябы толщиной 150 — 250 мм, шириной до 1850 мм и длиной до 10,5 м поступают со склада цеха на подъемные столы 1 и весы 2. По рольгангу 3 слябы транспортируются на загрузочные столы 4, с которых подаются в печи 5 сталкивателями 6. С помощью шагающих балок слябы перемещаются по внутреннему пространству печи. Доставленные к окну выгрузки нагретые слябы передвигаются из печи на рольганг 7 механизмом безударного извле-

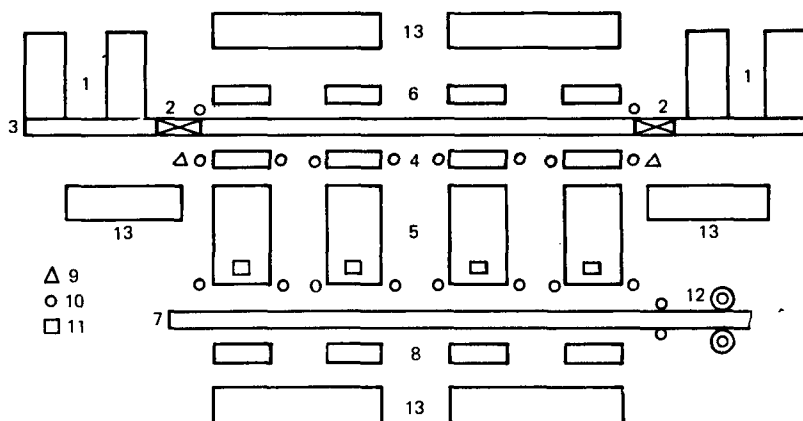


Рис. 4.2. Схема расположения оборудования печного участка стана

чения 8. Температуру сляба, поступившего на нагрев, измеряют датчики 9. Установку слябов на весы, загрузку в печь, выдачу из печи и транспортирование к окалиноломателю 12 фиксируют фотодатчики 10. Перенос сляба вдоль печи шагающими балками контролируется контактными датчиками 11. На участке нагрева слябов размещены посты 13 управления печами.

4.2 АВТОМАТИЗАЦИЯ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

В комплексе систем управления любым объектом, подчиненным АСУТП, могут быть синтезированы три подсистемы: слежения за перемещением металла, сбора и обработки результатов измерений, управления процессом на базе реализации математических моделей [16].

Технические и программные средства системы слежения АСУТП 1 позволяют в любой заданный момент времени определить положение и стадию обработки всех слябов на участке нагревательных печей. Исходной информацией для системы слежения являются данные, которые вводятся в систему с сертификата плавки стали на партию слябов (в состав партии входят слябы одинакового размера, изготовленные из стали одного химического состава и предназначенные для производства полос одного размера). Информация содержит следующие данные: номер партии и количество слябов в ней, номер плавки и марка стали, а также содержание основных химических элементов в ней, масса и размеры готовой полосы, температура конца прокатки и смотки полос, степень и характер охлаждения полос, технология последующей обработки готовых горячекатаных полос. Данные вводятся в систему слежения до момента поступления первого сляба партии на весы, встроенные в загрузочный рольганг печей.

Управление процессом сталкивания слябов с подъемных столов и их дальнейшим перемещением по секциям загрузочного рольганга осуществляется локальной системой автоматики участка печей (на базе "Симатик"). В момент поступления сляба на весы загрузочного рольганга вторая система локальной автоматики иницирует для УВМ С-305 сигнал "Сляб на весах". По этому сигналу УВМ запоминает номер сляба, который несет следующую информацию: дата; номер партии, к которой принадлежит сляб; текущий номер сляба.

Сляб, поступивший на весы, по сигналу следящей системы локальной автоматики взвешивается, а его температура измеряется. Ре-

зультаты измерений с помощью "Симатик" передаются в УВМ, где они помещаются в определенную область памяти. Одновременно определяется количество слябов, которое поступило на весы в составе партии.

Пронумерованный, взвешенный и закодированный сляб удаляется с весов по сигналу оператора на посту управления участком печей. По этому же сигналу УВМ рассчитывает задание, которое указывает номер ряда шагающих балок и вид посада (однорядный по длине слябов от 9,4 до 10,3 м, двухрядный при длине слябов от 4,5 до 5,1 м и шахматный при длине слябов от 7,4 до 8,4 м) по партиям и равномерности загрузки каждой печи. Номер сляба и задание УВМ передает в систему локальной автоматики "Симатик", под управлением которой сошедший с весов сляб транспортируется до указанного УВМ ряда шагающих балок, после чего сдвигается сталкивателем на приемный стол перед печью в позицию ожидания загрузки.

По мере шагания балок в печи освобождается место для новых слябов. Оценив возможность посада очередного сляба, система локальной автоматики вырабатывает инициативный сигнал на толкатели, которые выполняют операцию загрузки. При этом "Симатик" определяет расстояние от оси загрузочного рольганга до задней кромки посаженного в печь сляба и его ширину. Оба параметра передаются в УВМ, которая на их основе рассчитывает позицию середины сляба относительно оси приемного рольганга. Одновременно номер сляба вводится в массив учета соответствующего ряда слябов. Слежение за продвижением слябов в печи осуществляется по импульсам от датчиков, задействованных в процессе шагания балок.

Расчет рациональной последовательности выдачи слябов из печи (составление списка слябов, готовых к выдаче) осуществляется на УВМ. Периодический расчет выполняют в следующем порядке: после выдачи из печи сляба очередной партии металла необходимо выдавать слябы только этой партии; выдача слябов осуществляется по возрастающему порядковому номеру; коэффициент частоты выдачи слябов из печи должен быть минимальным относительно соответствующих коэффициентов для других печей, в которые посажены слябы одной партии.

Слябы выдаются из печей через определенные интервалы времени, соответствующие длительности цикла прокатки. За время этого цикла УВМ определяет номер печи, с которой следует взять нагретый сляб, а также вырабатывает для системы локальной ав-

томатики, управляющей приемниками слябов, установку на число и глубину захода в окно печи штанг приемников. После того как сляб попадает на приемный рольганг печи, на УВМ производится выборка его номера из массива учета соответствующего ему ряда посада, и эти данные по каналу межпроцессорной связи поступают в УВМ, обслуживающую стан.

Кроме данных, полученных от устройств ввода, в УВМ печи формируются и затем передаются индивидуальные параметры сляба: номер ряда посада, из которого он извлечен, истинная масса, ширина и температура его поверхности. Таким образом, приемный рольганг является той зоной слежения, на границах которой происходит формирование в памяти УВМ области данных о нагреве металла, необходимого для автоматического управления технологическим процессом прокатки. Система слежения способна сопровождать на участке печей 616 слябов, информация о которых может храниться в памяти УВМ.

Система сбора и обработки измерений, также как и система слежения за металлом, выполняет пассивные функции АСУТП, поскольку непосредственно не вырабатывает управляющих воздействий. Однако в силу того, что математические модели расчета установок для управления нагревом построены в ряде случаев на использовании адаптационных уравнений, имеющих в качестве составляющей коэффициенты коррекции, определяемые из сопоставления расчетных и измеренных параметров, влияние системы сбора и обработки измерений на качество управления печью достаточно велико. Кроме того, только с помощью этой системы можно контролировать важнейшие технологические параметры и оценивать эффективность управления станом.

В каждой зоне печи системой сбора и обработки результатов измерений контролируются параметры процесса нагрева слябов: заданные и фактические температуры греющей среды и поверхности каждого сляба, расходы газа и воздуха. С помощью той же системы контролируются параметры, характеризующие работу печи в целом: температура газа, отходящего из печи; температура воздуха, выходящего из рекуператора; расход газа, температура раската за пятой клетью черновой группы стана и, в случае горячего посада слябов, их температура в момент взвешивания перед загрузкой в печь.

Важнейшими параметрами процесса нагрева слябов являются температуры их поверхности и окружающей среды на каждом участке печи. В качестве первичных приборов для замера температу-

ры окружающей среды по участкам печи применены платина-платинородиевые термпары, а для замера температуры поверхности слябов — оптические пирометры ("Ардометры") с диапазоном измерения 500 — 1000°C для первого и 800 — 1500°C для других участков.

В зависимости от периодичности опроса измерительные устройства для определения величины того или иного параметра измерения подразделяются на две группы: синхронные и асинхронные. Первые характеризуются строгой периодичностью считывания фиксируемых ими параметров процесса, при этом периодичность опроса составляет 1 мин. К асинхронным измерениям относятся измерения температуры слябов в районе весов и измерения температуры поверхности слябов в печи при помощи "Ардометров" и др. Иницилирующими сигналами для начала их опроса являются соответственно сигналы о наличии сляба на участке весов, очередном шаге балок в печи и др.

В АСУТП 1 действуют аналоговые и цифровые сигналы, поступающие от датчиков, измеряющих параметры процесса нагрева слябов. Благодаря математическому обеспечению на основе методов статистики выходные сигналы приводятся к виду, удобному для использования в других подсистемах АСУТП.

Опыт эксплуатации АСУТП 1 выявил необходимость в разработке и применении схемы согласования и последующей обработки сигналов системы локальной автоматики позиционирования сляба на весах, позволяющие определить истинную длину его с точностью ± 20 мм. Достаточно точное определение длины сляба обеспечило устранение недостатков в работе системы слежения и уменьшение в 2 раза числа случаев перехода с автоматического на ручное управление.

Параметром, характеризующим положение сляба в печи, является расстояние от середины его ширины до оси приемного (горячего) рольганга. Определение этого расстояния выполнялось с помощью УВМ С-305 по сигналу локальной автоматики при очередном шаге подвижных балок.

В процессе эксплуатации АСУТП 1 было выявлено, что длина шага подвижных балок непостоянна и изменяется в пределах 392 — 488 мм в зависимости от общей массы слябов, уложенных на балки, колебания давления в гидросистеме механизмов перемещения балок, устойчивости сочленения этих механизмов. Большие и неуправляемые колебания длины шага подвижных балок вносили

существенную погрешность в определение координаты сляба, находящегося в печи, и поэтому — в расчет ожидаемой температуры его поверхности. Среднеквадратичная ошибка расчета температуры слябов достигала 12⁰С. Введение в локальную систему управления процессом перемещения слябов в печи двух новых функций — измерение фактической длины каждого шага балок и измерение координаты первого от окна выдачи сляба — с последующим использованием этих величин для определения текущих координат сляба позволило снизить среднеквадратичную ошибку в определении их положения в печи до 10 мм и уменьшить ошибку расчета температур до 4⁰С.

Определение смены партии и передача ее данных в УВМ С-306 осуществлялись в момент завершения процесса выдачи первого сляба новой партии из печи на приемный рольганг. В процессе смены партии возникал дефицит времени, необходимого для расчета настройки и последующего ввода задания в локальные системы управления приводами механизмов черновой группы клетей. Согласно новому алгоритму при выдаче очередного нагретого сляба на приемный рольганг УВМ определяет количество слябов данной партии, находящихся в печах. После выхода в черновую группу стана последнего сляба выдаваемой из печи партии УВМ С-305 осуществляет передачу в УВМ С-306 данных об очередной партии еще до выдачи из печей первого сляба.

В процессе эксплуатации системы сбора и обработки результатов измерений был предложен и реализован ряд изменений проектных решений.

При оценке достоверности результатов отдельных измерений и температуры сляба в целом не учитывалась возможность несоответствия его положения месту установки на печи "Ардометров": в отдельных случаях измерения выполнялись за пределами поверхности сляба. В качестве инициирующего сигнала для измерения температуры поверхности слябов первоначально использовался сигнал начала шага балок. Измерение температуры поверхности на движущемся в горизонтальном направлении слябе приводило к снижению точности этого замера. В качестве импульса начала измерения был применен задний фронт сигнала о шаге балок, т.е. момент окончания этого процесса, что гарантировало считывание размеров на неподвижном слябе, и тем самым уменьшило среднеквадратичную ошибку измерения температуры слябов с 7 до 3⁰С.

Функции управления нагревом слябов сводятся к расчету тем-

ператур греющей среды в каждой зоне печи и передачи его результатов в системы автоматического регулирования. При этом выполняются следующие условия: время нагрева слывов в печи и удельный расход топлива на нагрев должны быть минимальными, для каждой партии слывов достигается определенная температура их поверхности и не превышает предельная разность температур поверхности и центра слыва в момент выдачи его из печи, режим и ритм работы нагревательных печей и прокатных клетей находятся в динамическом соподчинении. Результаты расчета в виде задания (уставки) на температуры греющей среды поступают каждые 4 мин в системы автоматического регулирования, управляющие процессом нагрева слывов. Расход воздуха является выходной величиной для ведущего контура регулирования и входной в системе регулирования соотношения воздух — газ (газ — воздух).

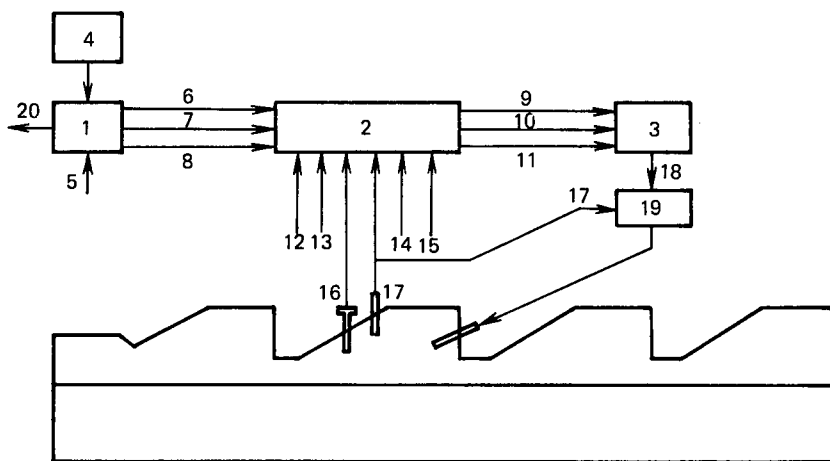


Рис. 4.3. Схема взаимосвязи подсистем АСУТП 1:

1 — система слежения за металлом; 2 — система сбора и обработки измерений; 3 — математическая модель печи; 4 — терминал ввода данных; 5 — перемещение слывов; 6 — размеры и положение слыва; 7 — класс качества слыва; 8 — заданная температура прокатки; 9 — параметры работы печи; 10 — данные слыва; 11 — время нагрева слыва; 12 — расход воздуха; 13 — температура воздуха для горения; 14 — расход газа; 15 — температура отходящих газов; 16 — температура поверхности слыва; 17 — температура в зоне; 18 — уставка температуры в зоне; 19 — контур регулирования температуры; 20 — передача данных на прокатный стан [1]

Схема взаимосвязи подсистем, входящих в АСУТП 1, представлена на рис. 4.3. Расчет температур греющей среды выполняется на УВМ по программе, составленной на основе математической модели тепловой работы каждой зоны. Температура предварительного нагрева слябов в зоне № 1 определяется по уравнению, составленному с учетом производительности печи, приведенной к условиям работы зоны, и средневзвешенной толщины слябов, поступающих в зону нагрева металла. Решение уравнения на УВМ С-305 позволяет осуществлять режим управления нагревом металла при различных толщинах слябов смежных партий (разность толщин может составлять 100 мм).

Расчет уставок температур для зон № 3 и № 5 выполняется по формуле, полученной в результате совместного решения уравнений теплопроводности и теплообмена с использованием значений величины коэффициента теплообмена α . Эти значения были получены в ходе выполнения специальных исследований в процессе освоения АСУТП 1 как в разомкнутом, так и замкнутом режимах работы.

Температура греющего пространства в каждой зоне печи измерялась с помощью стационарных термопар; температура по поверхности сляба — с помощью специальных контактных термопар, зачеканенных в сляб. После многократных повторений эксперимента была рассчитана матрица значений коэффициента α и записана в память УВМ С-305.

В процессе последующей эксплуатации АСУТП 1 было установлено, что коэффициент α заметно варьирует по мере изменения состояния печей и влияет на эффективность управления нагревом слябов при помощи УВМ. С целью адаптации математической модели к указанным изменениям измеряется температура раската на выходе его из последней клетки черновой группы стана. По данным о температуре раската рассчитывается значение температуры поверхности сляба, которую он имел на выходе из печи, и сравнивается со значением этой же температуры, полученным из расчета математической модели нагрева сляба в печи. На основании разницы этих величин производится уточнение значения коэффициента α , что позволило увеличить на 30 % эффективность автоматического режима управления нагревом.

Рассчитанные значения температур нагрева зон № 3 и № 5 сравниваются с предельными и передаются в качестве уставок в локальные системы автоматического регулирования.

Измеренные и рассчитанные температуры греющей среды находятся в достаточно полном соответствии. Наблюдается и хорошее совпадение данных о результатах расчета и измерения стационарно установленными в печи радиационными пирометрами температуры поверхности слывов. Величина коэффициента адаптации изменяется в пределах 0,5 — 1,5, эффективно реагируя на колебания производительности печи и результаты измерения температуры раската в черновой группе стана.

Динамика изменения температур греющей среды и слывов по длине той же печи показана на рис. 4.4. Видно, что рассчитанная температура поверхности слывов перед выдачей их из печи практически равна измеренной температуре греющей среды, а градиент рассчитанных температур по толщине слывов ($H = 250$ мм) составляет лишь 26°C .

Определение уставок температур для зон № 7 и № 9 выполняется на основе принятого закона линейного уменьшения температуры греющего пространства, начиная с зоны № 5 и до окна выдачи слывов. Температура в конце зоны № 7 (№ 9) определяется по эмпирическому уравнению зависимости температуры от производительности печи и максимально допустимой температуры прокатки слыва. Адаптация соответствующего коэффициента в уравнении расчета укладки температуры для зон № 7 и № 9 проводится по результатам измерения и последующего анализа температуры поверхности раската за последней клетью черновой группы стана.

Температуры нагрева нижних зон (номера 2, 4, 6, 8, 10) рассчитываются исходя из соотношения значений температур верхних и нижних зон и уставок для соответствующих верхних участков печи.

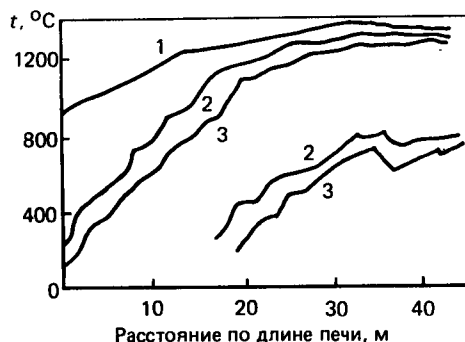


Рис. 4.4. Изменение измеренной температуры греющей среды по длине печи (1), а также рассчитанных температур поверхности (2) и центра (3) слывов [2]

В месте смены толщины слябов, посаженных в печь, возникает температурная "ступенька", которая с каждым шагом балок последовательно проходит все зоны. Применение метода предварения, заключающегося в более раннем начале разогрева или охлаждения участка печи, в которой должна поступить "ступенька", позволило успешно управлять нагревом металла в переходном режиме.

Выше, для режимного нагрева слябов, были рассмотрены методы расчета уставок температуры внутреннего пространства печи до текущей нормированной температуры их поверхности.

Вторая задача — расчет режима работы печи, обеспечивающий не только нагрев сляба до заданных температур его поверхности, но и до регламентированного перепада температур по его сечению. Задача решается на основе реализации системы уравнений, полученных из уравнения теплопроводности Фурье, для преобразования которого применены методы Роте — Коллатца. Получена возможность рассчитывать изменение температуры по толщине сляба и времени его нагрева. Временной интервал расчета выбирается независимо от ширины пространственного шага и составляет от 0,5 до 1 мин. Расчет ведется применительно к четырем участкам, охватывающим всю длину печи.

Список слябов, готовых к выдаче из печи, формируется посредством УВМ при соблюдении условий: при данном режиме нагрева и существующей производительности прогнозируемые температуры поверхности сляба и перепад температуры по сечению не превышают регламентированных значений. Если установленная температура поверхности сляба выходит за допустимый для данного участка нагрева предел, то при очередном расчете УВМ уменьшает уставку температуры для соответствующей зоны и зоны ей предшествующей на величину, пропорциональную степени перегрева поверхности сляба над заданным уровнем.

В связи с плановыми остановками агрегатов стана и последующим вводом их в работу АСУТП 1 решает задачу управления процессами охлаждения, а затем разогрева печей. Учитывается положение задней кромки массива слябов при освобождении печей от металла и их охлаждении, ход естественного охлаждения зон печей, положение передней кромки массива слябов в процессе загрузки и разогрева печей. Ввод программ, составленных на основе перечисленных условий эксплуатации печей, позволил ввести автоматическое управление нагревом металла и в нестационарных режимах работы стана.

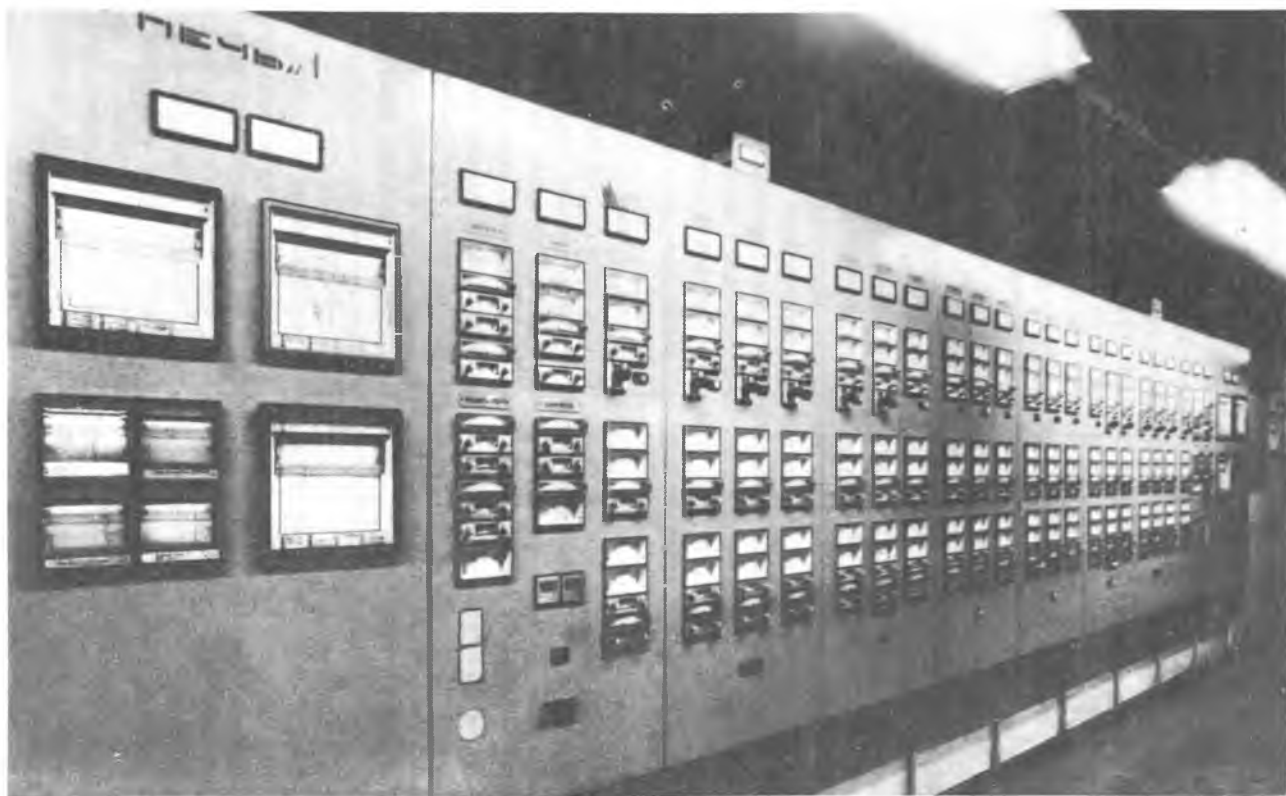


Рис. 4.5. Пульт управления нагревательной печи

Результаты расчета и измерения теплотехнических параметров работы печей свидетельствуют как об эффективности математической модели процесса нагрева слябов, так и о качестве работы систем автоматического регулирования АСУТП 1.

Математическая модель, построенная в соответствии с рассмотренным методом моделирования процессов теплообмена и теплопроводности в рабочем пространстве современных методических печей, показала достаточную адекватность реальному процессу нагрева слябов в печах. Диапазон колебаний температур поверхности партии слябов составляет $\pm 10^{\circ}\text{C}$, а градиент температур по их сечению не превышает 30°C . На основе реализации модели достигнуто сокращение расхода топлива на 2,5 – 3,5 % и уменьшение окисления металла на 2,0 – 3,0 %. На рис. 4.5 представлен пульт управления нагревательной печи.

4.3 ОБОРУДОВАНИЕ ЧЕРНОВОЙ И ЧИСТОВОЙ ГРУПП КЛЕТЕЙ СТАНА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Стан 2000 предназначен для прокатки полос из рядовых и качественных углеродистых, а также низколегированных, конструкционных, электротехнических и коррозионностойких сталей (рис. 4.6). На стане прокатывают полосы толщиной 1,2 – 12 и шириной 900 – 1835 мм из слябов толщиной 150 – 250 мм, шириной 950 – 1880 мм и длиной 4,5 – 10,5 м. Исходным материалом для прокатки продукции служат слябы, получаемые из конвертерного цеха.

Черновая группа стана состоит из вертикального окалиноломателя с диаметром валков 1200 мм, горизонтальной двухвалковой клетки с валками диаметром 1400 мм и четырех универсальных клеток с вертикальными валками диаметром 1000 мм и горизонтальными с диаметром валков рабочих 1180 и опорных 1600 мм.

Три последние клетки образуют непрерывную подгруппу. Электропривод горизонтальных валков этих клеток осуществляется от двигателей постоянного тока, что позволяет вести прокатку с ускорением. Максимальная скорость прокатки в последней черновой клетки достигает 5 м/с. Суммарная мощность двигателей главных приводов черновых клеток составляет 47800 кВт. Длина черновой группы клеток равна 90,5 м. Характеристики прокатных клеток приведены в табл. 4.1, а технические данные электродвигателей валков окалиноломателя (О), вертикальных (В) и

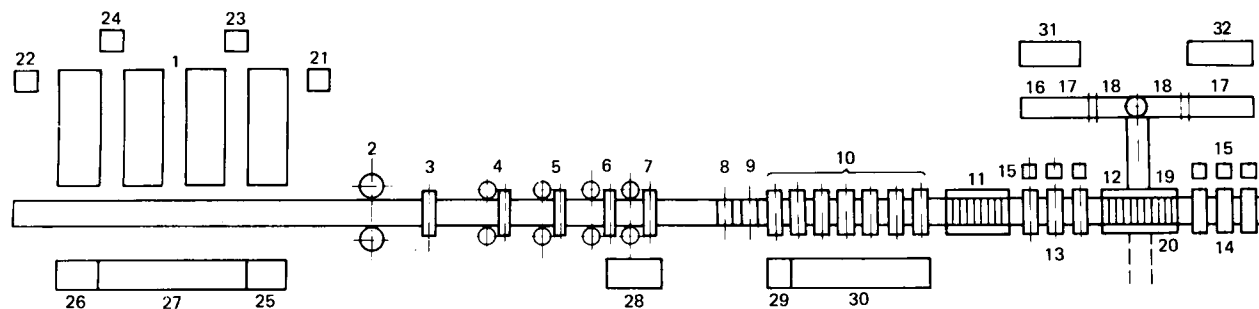


Рис. 4.6. Схема расположения технологического оборудования стана 2000:

1 – нагревательные печи с шатающими балками; 2 – вертикальный окалиноломатель; 3 – горизонтальная двухвалковая клеть; 4 – 7 – универсальные клетки; 8 – летучие ножницы; 9 – чистовой окалиноломатель; 10 – чистовая группа клеток; 11, 12 – участки охлаждения полос; 13, 14 – группы моталок для свертывания полос; 15 – тележки; 16 – транспортер; 17 – вязальные машины; 18 – весы; 19 – подъемно-поворотный стол; 20 – транспортер; 21 – 27 – посты управления участка печей; 28 – 30 – посты управления черновой и чистовой группами клеток; 31, 32 – посты управления участка моталок

Таблица 4.1 Характеристика прокатных клеток черновой группы стана 2000

Наименование	Номер клетки				
	1	2	3	4	5
Максимальная масса сляба, т	36	36	36	36	36
Размеры проката:					
толщина, мм	150 – 250	100 – 200	95 – 140	55 – 95	35 – 50
ширина, мм	900 – 1850	900 – 1820	900 – 1820	900 – 1820	900 – 1820
длина, м	4,5 – 10,5	10,3 – 13,5	14,8 – 19	23 – 30	41,5 – 51
Максимальное давление металла на валки, МН (т)	24 (2400)	33 (3300)	32 (3200)	33 (3300)	33 (3300)
Максимальный момент прокатки, МН · м (тм)	4,8 (480)	4,8 (480)	5,5 (550)	5,5 (550)	4,0 (400)
Наибольший момент при захвате металла валками, МН · м (тм)	—	—	8,3 (830)	8,3 (830)	6,5 (650)
Скорость установки валка, мм/с	—	—	0,51 – 1,02	0,51 – 1,02	0,51 – 1,02
Максимальный подъем верхнего валка, мм	470	470	470	470	470
Максимальная величина обжатия, %	—	—	45	45	40
Скорость прокатки, м/с:					
вертикальные клетки	1,25	1,25	0,6 – 1,5	0,9 – 2,0	1,0 – 3,5
горизонтальные клетки	—	1,50	0,9 – 2,0	1,0 – 3,5	2,0 – 5,0

горизонтальных (Г) валков прокатных клетей черновой группы стана представлены в табл. 4.2.

Основная масса первичной печной окалины удаляется с помощью гидравлического устройства, расположенного за вертикальным окалиноломателем. Остальная часть, а также вторичная окалина удаляются с раскатов благодаря гидросбиву за клетями № 1 и № 2 и чистовым окалиноломателем.

За последней черновой клетью расположены промежуточный рольганг со сбрасывателем раскатов в карман, рольганги перед летучими ножницами и чистовым окалиноломателем. Общая длина рольгангов составляет 131,9 м.

Летучие ножницы барабанного типа служат для обрезки концов раската. Скорость движения раската при резе переднего конца 0,5 – 1,5 м/с, заднего – 0,4 – 2,0 м/с.

Окалиноломатель имеет одну пару роликов, за которыми расположены коллекторы гидросбива окалины водой под давлением 17 МПа.

Таблица 4.2 Технические данные электродвигателей привода валков клетей черновой группы стана 2000

Номер клетей	Тип валков	Мощность, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹	Количество
0	В	630	365	2
1	Г	5000	375	1
2	Г	5000	375	1
	В	640	700	2
3	Г	6300	115/240	2
		520	280	
	В	640	700	2
4	Г	6300	115/240	2
		5200	280	
	В	540	700	2
5	Г	6000 × 2	50/100	1
		5500 × 2	140	
	В	540	700	2

Таблица 4.3 Характеристика прокатных клеток чистовой группы стана 2000

Наименование	Номер клетки						
	6	7	8	9	10	11	12
Максимальная масса сляба, т	36	36	36	36	36	36	36
Размеры раската:							
толщина, мм	16 – 37	8,2 – 28	4,9 – 22	3,2 – 18	2,0 – 16	1,4 – 8,0	1,2 – 5,0
ширина, мм	900 – 1820	900 – 1820	900 – 1820	900 – 1820	900 – 1820	900 – 1820	900 – 1820
длина, м	69 – 157	91 – 288	116 – 450	142 – 650	160 – 1030	320 – 1480	536 – 1720
Максимальное давление металла на валки, МН (т)	30,5 (3050)	33 (3300)	33 (3300)	33 (3300)	33 (3300)	35 (3500)	17 (1700)
Наибольший момент прокатки, МН · м (тм)	2,3 (230)	2,3 (230)	1,3 (130)	1,3 (130)	8 (80)	8 (80)	3,5 (350)
Наибольший момент при захвате металла валками, МН · м (тм)	2,8 (280)	2,8 (280)	1,7 (170)	1,3 (130)	1,3 (130)	1,3 (130)	8,5 (850)
Максимальное обжатие, %.	40	48	40	35	37	30	14
Максимальный подъем верхнего валка, мм.	270	270	270	270	270	270	270
Скорость прокатки, м/с.	0,75 – 3	1 – 5	1,3 – 7,5	2,1 – 10,25	2,7 – 13,5	3,5 – 17	4,0 – 21

Чистовая группа стана состоит из семи четырехвалковых клеток с валками диаметром 900/1600 мм (клетки № 6, № 7), 800/1600 мм (клетки № 8 – № 12). Клетки оборудованы системой противоизгиба рабочих валков. В межклетевых промежутках установлены петледержатели с электромеханическим безредукторным приводом от двигателей постоянного тока. Суммарная мощность двигателей главных приводов чистовых клеток составляет 84000 кВт, максимальная скорость прокатки 21 м/с, длина чистовой группы клеток 36 м. Основные характеристики клеток и электродвигателей привода валков чистовой группы приведены в табл. 4.3 и 4.4.

Одной из комплексных технических характеристик листопркатной клетки является ее жесткость. Величина упругой деформации основного рабочего органа клетки – валка – существенно зависит от длины участка бочки, к которому приложено усилие, поэтому коэффициент жесткости клетки является сложной функцией ширины прокатываемой полосы. Исследования, выполненные на ста-

Таблица 4.4 Технические данные электродвигателей горизонтальных валков клеток чистовой группы стана 2000

Номер клетки	Мощность, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹	Количество
ГО	54/950	225/440	2
6	<u>2 × 6000</u>	<u>50/100</u>	1
	2 × 5800	140	
7	<u>2 × 6000</u>	<u>50/100</u>	1
	2 × 5200	140	
8	<u>2 × 6300</u>	<u>115/240</u>	1
	2 × 5200	280	
9	<u>2 × 6300</u>	<u>115/240</u>	1
	2 × 5200	280	
10	<u>2 × 6300</u>	<u>190/380</u>	1
	2 × 5500	450	
11	<u>2 × 6300</u>	<u>190/380</u>	1
	2 × 5500	450	
12	<u>2 × 4800</u>	<u>280/475</u>	1
	2 × 4200	550	

не 2000, позволили установить, что коэффициенты жесткости чистовых клетей для случая прокатки полос трех ширин 1000, 1225 и 1500 мм равны 5,6; 5,8 и 6,05 МН/мм соответственно.

Одним из основных параметров, характеризующих эффективность регулирования толщины и формы прокатываемой полосы, является коэффициент жесткости валкового узла. Экспериментальное определение жесткости валкового узла выполнено методом контролируемой прокатки листов. По данным эксперимента определены коэффициенты жесткости системы опорный – рабочий валки, равные 150,2; 250,0 и 318,0 МН для полос трех ширин (1000, 1225 и 1500 мм) соответственно.

В результате прокатки слэбов в черновой группе клетей образуются раскаты толщиной 30 – 50 мм. Температура поверхности их на выходе из пятой клетки составляет 1050 – 1150°C.

В чистовую группу клетей раскат поступает с температурой 960 – 1050°C. Диапазон обычно применяемого ускорения стана составляет 0,01 – 0,08 м/с². В последних межклетевых промежутках стана при прокатке полос толщиной 1,2 мм удельное натяжение металла достигает 29,4 – 34,3 МН/м².

Температурные режимы прокатки, охлаждения и смотки определяют необходимые физико-механические свойства готовой продукции. В соответствии с требованиями стандартов к механическим свойствам и микроструктуре готовых полос прокатку их завершают в диапазоне температур 780 – 950°C, а свертывание в рулоны при температуре не ниже 550°C.

Для удовлетворения технологических требований прокатка в чистовой группе клетей осуществляется по нескольким режимам в зависимости от толщины готовых полос и их назначения.

Основным режимом для поддержания постоянной температуры конца прокатки является прокатка полос от начальных до конечных скоростей с ускорениями, которые обеспечивают компенсацию падения температуры по длине полосы. Для подъема уровня начальных и конечных скоростей используется межклетевое охлаждение, которое отбирает избытки тепла при прокатке на более высоких скоростях, обеспечивая тем самым необходимую температуру конца прокатки.

При прокатке тонких полос начальная скорость ограничивается условиями транспортирования переднего конца полосы по рольгангу и надежной его заправкой на моталку.

Установка охлаждения состоит из коллекторов, системы подводящих трубопроводов, запорно-регулирующей арматуры и приборов для измерения расхода и давления воды. Подача воды в каждом из пяти межклетевых промежутков осуществляется двумя коллекторами. Один коллектор смонтирован сверху полосы непосредственно за предыдущей клетью, другой — перед последующей клетью. Таким образом, в межклетевом промежутке образуются две зоны охлаждения, примыкающие к рабочим валкам. По длине коллектора установлены щелевые сопла, из которых вода подается на полосу плоскими параллельными струями.

При прокатке полос в чистовой группе применяется технологическая смазка, позволяющая уменьшить усилия прокатки, увеличить стойкость валков и улучшить качество поверхности готовой продукции.

Основное оборудование рабочих клеток — прокатные валки, устройства для их изгиба и установки в заданное положение, системы и средства охлаждения и смазки валков и полосы, петледержатели и др. — постоянно совершенствуются. Изыскиваются современные износо- и термостойкие материалы, рациональные методы оперативного воздействия на форму полосы.

Особенностью внедренной системы автоматического управления формой полосы на стане является определение характеристик неплоскостности отдельных участков прокатываемых полос с помощью фотоэлектрической системы контроля формы полосы. Это обеспечивает эффективное регулирование формы полосы за последней клетью по результатам оперативного контроля.

Данные о продольной волнистости полосы по всей ширине поступают через устройства дискретного ввода в УВМ, где с помощью специальных алгоритмов рассчитываются обобщенные показатели симметричной и асимметричной волнистости. На основе этих показателей производится расчет и выдача уставок в системы гидроизгиба рабочих валков трех последних клеток чистовой группы.

На отводящем рольганге длиной 265,08 м горячекатаная полоса перед свертыванием в рулон охлаждается до заданной температуры. Стан оборудован системой охлаждения полос: сверху — ламинарными струями воды; нижняя поверхность полосы охлаждается водой под давлением.

Система охлаждения полос ламинарными струями воды отличается рядом достоинств: относительно большим и стабильным ко-

эффицентом теплообмена между охлаждающей водой и прокатанной полосой; высокой эксплуатационной надежностью, а также технико-экономической эффективностью гидравлического оборудования, не имеющего в своем составе насосов высокого давления; устойчивостью установившегося процесса охлаждения металла по длине и ширине полос.

Весь участок охлаждения полосы разделен на 94 ступени длиной 2,82 м каждая. На ступенях 1 – 8 (рис. 4.7), 29 – 46 и 65 – 94 полоса охлаждается естественным потоком воздуха, а на ступенях 9 – 28 и 47 – 65 – сверху и снизу водой. Чередование участков охлаждения способствует выравниванию температуры по толщине полосы.

Сверху полоса охлаждается ламинарными струями воды, вытекающими из сифонов, сгруппированных в блоки, установленные на высоте 2,05 м над уровнем рольгангов. В каждом блоке используются 80 сифонов. Блоки попарно объединены в секции. На нижнюю поверхность полосы вода подается через патрубки, вмонтированные в коллекторы, соединенные по шесть штук в секции.

Первый участок охлаждения полосы водой имеет сверху 20, а второй – 18 секций и столько же соответственно снизу. Каждая секция, а также блок, входящий в состав секций 13 – 28, оборудованы вентилем в соответствии с номером секции (блока).

Разветвленная сеть вентиляй позволяет включать (выключать) все секции системы охлаждения полосы одновременно или их часть

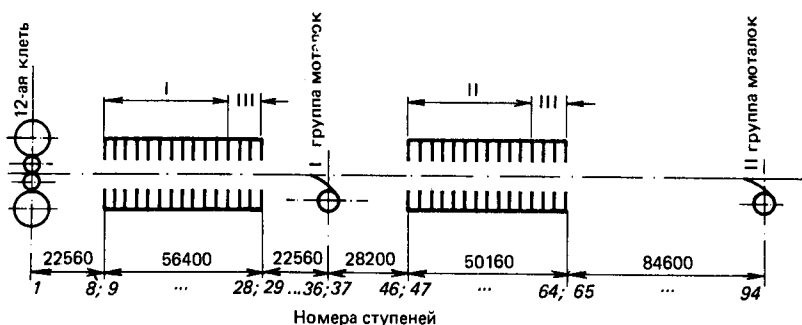


Рис. 4.7. Схема расположения участков охлаждения полосы вдоль отводящего рольганга стана:

I – первый участок охлаждения; *II* – второй участок охлаждения; *III* – зона прецизионного охлаждения

с любой заданной последовательностью и в любой расчетный момент времени вводить в работу все блоки секций 13 — 28 или их часть в любой комбинации. Кроме того, при помощи вентилей можно регулировать расход воды, подаваемой на полосу (через одну верхнюю секцию подается от 130 до 410 м³/ч, через одну нижнюю — от 110 до 200 м³/ч воды).

В конце первого и второго участков охлаждения полосы применяются зоны прецизионного охлаждения металла. Включение (выключение) вентилей зоны прецизионного охлаждения позволяет изменять температуру полос или ее отдельных участков в пределах $\pm(20 \div 30)^{\circ}\text{C}$.

Оборудование системы охлаждения полос обладает высокой надежностью в эксплуатации, имеет низкий удельный расход энергии, обеспечивает быстрое и плавное изменение расхода воды, соответствует требованиям систем автоматизации управления.

На отводящем рольганге установлены две группы моталок (по три моталки в группе) для свертывания полос в рулоны. Первая группа, расположенная на расстоянии 101,5 м от последней клетки стана, предназначена для смотки полос толщиной до 4 мм; вторая группа, расположенная на расстоянии 265 м, используется для свертывания полос толщиной до 16 мм. Каждая моталка оборудована двумя симметрично расположенными роликодержателями, в которых размещены два формирующих ролика диаметром 380 мм. Привод каждого ролика — индивидуальный, безредукторный (от электродвигателя постоянного тока мощностью 24 кВт) и осуществляется с помощью карданного вала. Перемещение и прижатие пары формирующих роликов осуществляется от пневматического цилиндра через систему рычагов.

Два гидравлических цилиндра диаметром 260 мм обеспечивают передвижение механизма формирования. Каждая пара формирующих роликов имеет собственный механизм настройки — клин, перемещающийся при помощи винта от электродвигателя мощностью 1,4 кВт. Максимальный раствор формирующих роликов 2400 мм (наружный диаметр рулона достигает 2300 мм). Между роликами установлены проводки.

Барабан моталки диаметром 850 мм в результате сжатия уменьшается до диаметра 828 мм. Разжатие барабана осуществляется пружинами, а сжатие — гидравлическим цилиндром. Привод барабана — индивидуальный, безредукторный от электродвигателя постоянного тока мощностью 1150 кВт, 220/440 мин⁻¹.

Исходное положение формирующих роликов по отношению к барабану устанавливается автоматически. В период свертывания полосы на барабан формирующие ролики автоматически самоустанавливаются по рулону и непрерывно следят за изменением его диаметра. По окончании свертывания формирующие ролики автоматически занимают исходное положение. Свертывание полосы в рулон можно выполнять с ускорением. Максимальная скорость свертывания — 21 м/с.

Рулоны, снятые с барабана моталок, транспортируются на склад готовой продукции или в переделные цеха по отводящим конвейерам. Обвязку рулонов выполняют на автоматизированных агрегатах, разработанных фирмой "Зак" (ФРГ), обладающих высокой скоростью операций и большой мощностью привода механизмов.

Обвязочные машины установлены в зоне расположения моталок, что позволяет рационально использовать производственную площадь цеха и предупреждать распушивание рулонов тонкой полосы в случае длительной транспортировки металла. Операция обвязки выполняется 3 — 4 раза в соответствии с заданием на упаковку. Длительность обвязки рулона составляет 30 — 35 с. Процесс уплотнения рулона и его обвязка управляется системой локальной автоматики.

Маркировка рулонов производится напылением алюминия по трафарету на поверхность горячекатаной полосы, свернутой в рулон. В составе оборудования хвостовой части стана используются два маркировщика, установленных в линиях конвейеров уборки рулонов после обработки их на обвязочных машинах. Конструкция электрометаллизатора основана на применении принципа расплавления двух непрерывно подаваемых проволочных электродов возбуждаемой между ними электрической дугой и распыления расплавленного металла струей сжатого воздуха.

Маркировочная запись содержит семь знаков, для нанесения которых применяются семь трафаретов. Трафареты для нанесения на рулон последних двух цифр номера партии полос и номера полосы устанавливаются в заданное положение автоматически, по команде из АСУТП.

Рулоны горячекатаных полос после маркировки, взвешивания передаются в отделение отделки листа с помощью транспортеров. На агрегатах резки, оснащенных АСУТП, металл разрезается на листы заданной длины с высокой степенью точности. УВМ обес-

печивает измерение и выравнивание линейной скорости ножей летучих ножниц относительно полосы к моменту реза, переход ножниц в зависимости от длины отрезаемых листов из режима непрерывного вращения в режим запусков на каждый раз.

АСУТП 2 стана 2000 представляет собой трехуровневую иерархическую систему, нижний уровень которой охватывает измерительные устройства и датчики технологического контроля, а также системы автоматизированного привода. Средний уровень АСУТП 2 обеспечивает сбор и обработку информации от датчиков, информационное сопровождение проката на отдельных участках стана, а также многосвязанное регулирование технологических парамет-

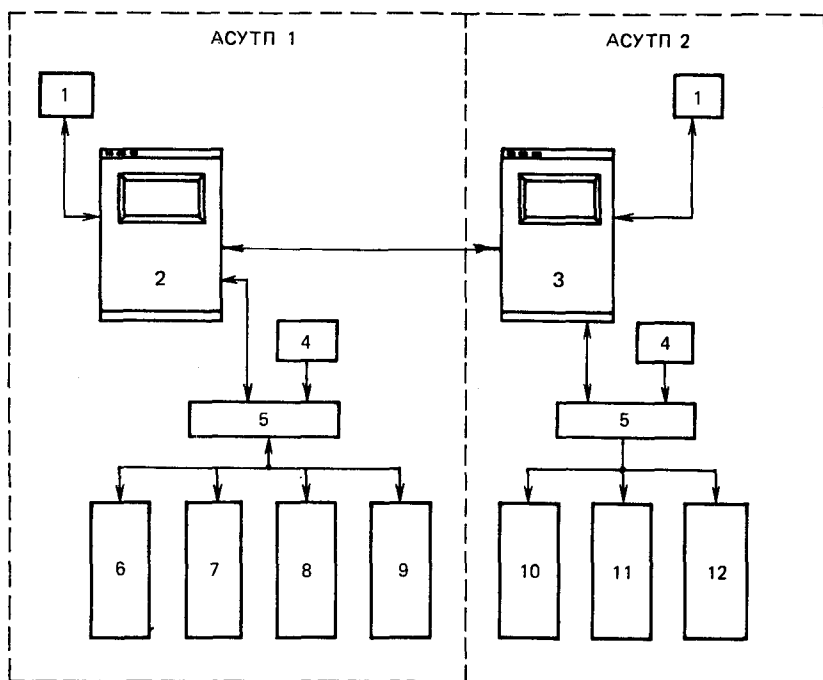


Рис. 4.8. Структурная схема АСУТП стана 2000:

1 – устройства ввода – вывода; 2, 3 – УВМ нагревательных печей и линии стана; 4 – устройства ручного управления; 5 – локальные системы автоматического управления; 6 – 9 – нагревательные печи; 10 – черновая группа клетей; 11 – чистовая группа клетей; 12 – участок охлаждения и свертывания полос

Таблица 4.5 Основные функции АСУТП широкополосного стана 2000 горячей прокатки

Участок нагревательных печей	Черновая группа клеток	Чистовая группа клеток	Участки охлаждения и свертывания полос
Управление комплексом механизмов участка загрузки печей	Слежение за раскатом и информационное сопровождение металла в черновой группе клеток	Слежение за раскатом и информационное сопровождение полосы в чистовой группе клеток	Слежение за полосой и информационное сопровождение рулона на выходном участке стана
Слежение за слябами и информационное сопровождение металла в районе нагревательных печей	Расчет настройки черновой группы клеток	Расчет настройки чистовой группы клеток	Расчет параметров процесса охлаждения полосы
Расчет режима нагрева металла, адаптация математических моделей	Адаптация математических моделей	Адаптация математических моделей	Адаптация математических моделей
Управление нагревом металла	Управление локальными системами автоматизации	Управление температурным режимом прокатки полос	Управление локальными системами автоматизации
Управление локальными системами автоматизации		Управление локальными системами автоматизации	

ров (геометрических размеров и физико-механических свойств) проката.

На верхнем уровне АСУТП 2 осуществляется расчет настройки стана на прокатку заданного профилирующего размера полос и выдаче установок на перестройку, расчет коррекции настройки при отклонении параметров металла от значений, принятых при расчете настройки, адаптация математических моделей процесса, информационное сопровождение проката по всей линии стана, диагностика механического и электрического оборудования, а также связь

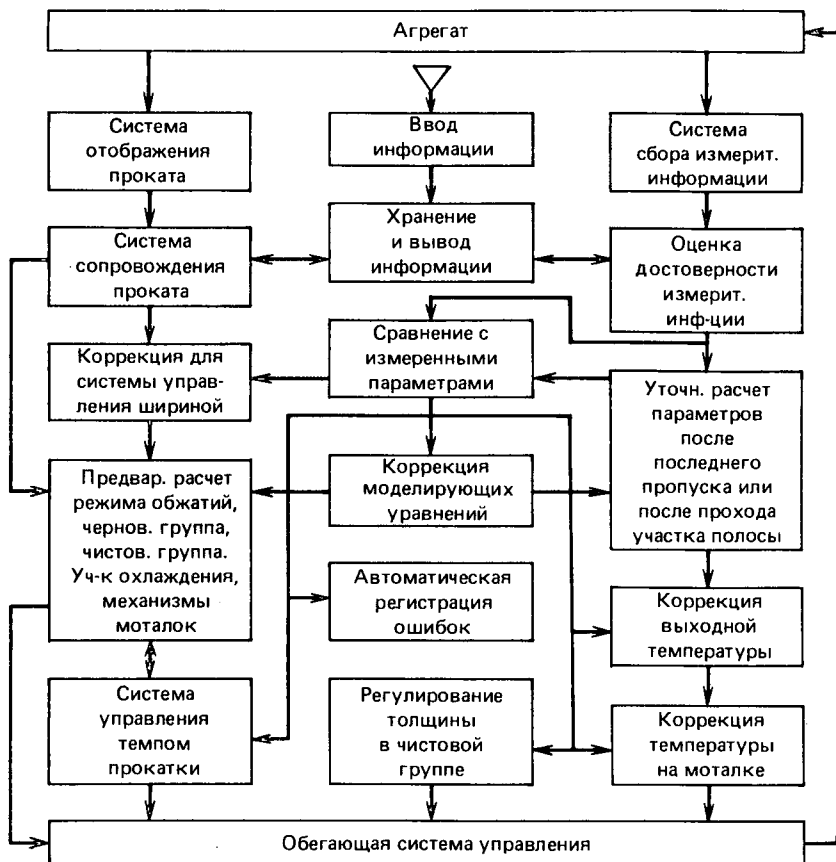


Рис. 4.9. Структура системы управления и регулирования

с АСУТП отделения нагрева и системой оперативного управления цехом (рис. 4.8, табл. 4.5).

На рис. 4.9 показано распределение задач управления и автоматического регулирования между локальными замкнутыми функциональными системами АСУТП 2. Эти системы сформированы таким образом, что позволяют обеспечивать возможно большую автономность выполнения локальных задач.

Функции систем можно разделить на пассивные и активные. К пассивным функциональным системам относятся, например, системы: отображения и сопровождения проката; ввода, хранения и вывода информации; сбора и оценки измерительной информации. Измеряемые параметры и информация, относящиеся к соответствующей полосе, накапливаются в запоминающем устройстве, и в случае необходимости выдаются в виде протоколов о продукции и процессе. С помощью этих данных могут быть определены коэффициенты подобия, входящие в уравнения математических моделей.

Активными функциональными системами являются системы: предварительного расчета режима обжаты и последующего вычисления параметров прокатки, коррекции или адаптации коэффициентов уравнения математической модели, регулирования толщины полосы в клетях чистовой группы; регулирования температуры конца прокатки; регулирования температуры полосы на моталке; регулирования ширины полосы; управления темпом прокатки и автоматической диагностики ошибок. Активные системы получают требующуюся для них информацию от пассивных систем.

Результирующая информация от активных систем выдается подчиненным системам управления и автоматического регулирования.

4.4 АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОКАТКИ ПОЛОС. СЛЕЖЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ПРОКАТА В ЛИНИИ СТАНА

Основными функциями информационного обеспечения АСУТП 2 являются слежение за металлом и отображение его в линии стана, сопровождение металла технологической и производственной информацией. Реализация перечисленных функций обеспечивается системой сбора и обработки (статистической оценки достоверности информации) результатов измерений.

Система сбора и обработки результатов измерений представлена различными датчиками, отличающимися назначением, принципом действия и формой выходных сигналов. Учитывая тяжелые условия металлургического производства, все измерительные устройства и датчики выполнены в пылезащитном или герметичном исполнении, имеют высокую виброустойчивость и работоспособность при температурах от -30 до 50°C и относительной влажности до 85 %.

Линия стана разбита на характерные сечения, в которых устанавливаются те или иные датчики, условно разбиваемые на следующие группы: датчики наличия металла; измерители геометрических размеров прокатываемых полос; датчики технологических параметров процесса прокатки.

Слежение за перемещением раската вдоль стана и в районе моталок осуществляется с помощью граничных фотодатчиков, способных фиксировать момент перемещения металла из одной части стана в другую. В качестве фотодатчиков используются фотореле "Ардонон". В каждой точке определения положения металла установлено по два датчика, визированных на одно место. Ис-

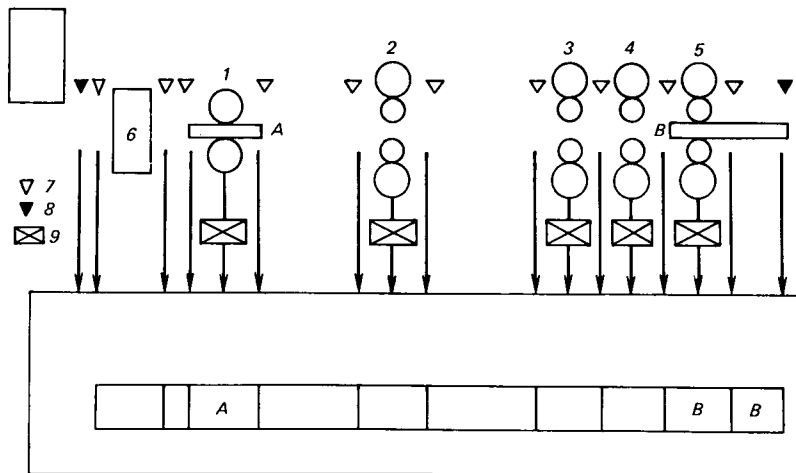


Рис. 4.10. Слежение и отображение проката в черновой группе клеток (1 – 5) стана:
6 – черновой окалиноломатель; 7 – фотодатчик; 8 – датчик усилия прокатки; 9 – граничный фотодатчик

пользование сдвоенных фотореле повышает надежность определения наличия металла в поле визирования.

Приемный рольганг является зоной слежения, где происходит передача данных от УВМ С-305 в УВМ С-306 и последующее формирование массива данных о нагретом металле, необходимого для управления технологическим процессом прокатки.

Массив данных партии является актуальным для всех слябов этой партии, пересекающих граничный фотодатчик I (рис. 4.10). По его сигналу фиксируются момент входа сляба в черновую группу стана и занесение его в зону ожидания окалиноломателя. Дальнейшее отображение перемещения металла осуществляется на основании логической обработки сигналов локальных фотодатчиков и датчиков давления металла на валки, положение которых на линии черновой группы стана показано на рис. 4.10.

В качестве датчиков давления используются магнитоанизотропные измерители усилий прокатки фирмы АСЕА (Швеция), установленные под подушку нижнего опорного валка.

Система отображения может одновременно сопровождать в черновой группе стана четыре раската. Выход раската на промежуточный рольганг фиксируется граничным фотодатчиком II. Система способна выдавать данные для трех раскатов, поступивших на этот рольганг.

Система слежения за перемещением металла в чистовой группе клеток аналогична описанной.

Опыт эксплуатации АСУТП 2 показал, что на участках стана, где происходит интенсивное парообразование и насыщение воздуха пылеобразной окалиной, надежность сигналов фотодатчиков снижается до 80 %, в связи с чем были разработаны и применены схемы замены и дублирования сигналов фотодатчиков сигналами от систем автоматики главных приводов.

Замена или дублирование сигналов фотодатчиков сигналами других датчиков (устройств), усовершенствование логики их обработки, осуществление мероприятий по изменению исходной математической модели отображения движения металла позволили избежать наложения и потерь данных при его перемещении вдоль линии стана и довести уровень надежности системы слежения до 99,7 %.

Движение металла через основные технологические участки стана

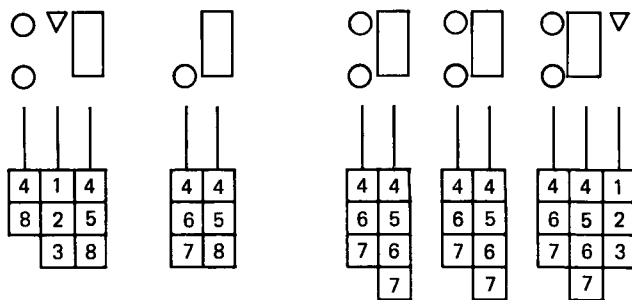


Рис. 4.11. Схема измерений технологических параметров в черновой группе клеток стана:

1 – толщина раската; 2 – ширина раската; 3 – температура раската; 4 – величина начального раствора валков; 5 – усилия прокатки; 6 – момент прокатки; 7 – окружная скорость валков; 8 – мощность прокатки

сопровождается цифровой индикацией его параметров на навесных табло и протоколированием на печатающих устройствах. Сечения основных участков линии прокатки клеток стана с указанием мест установки датчиков и наименованием измеряемых параметров, применяемых в АСУТП 2, представлены на рис. 4.11 и 4.12.

Сигналы, позволяющие оценить параметры технологического процесса (раствор валков, давление металла на валки, момент и мощ-

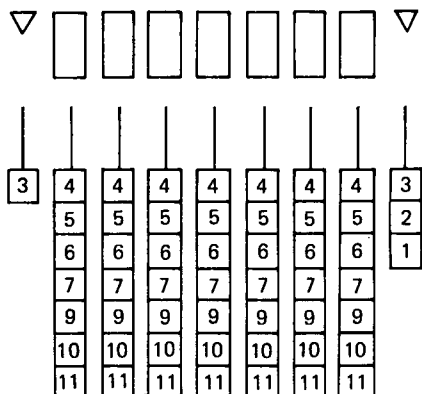


Рис. 4.12. Схема измерений технологических параметров в чистовой группе клеток стана:

1 – 8 – см. рис. 4.11; 9 – величина раствора валков в процессе прокатки полосы; 10 – усилие противозгибания рабочих валков; 11 – удельное натяжение полосы

ность прокатки и т.д.), поступают от соответствующих датчиков после предварительного преобразования, осуществляемого программной частью системы сбора и обработки результатов измерений.

Сигналы, характеризующие параметры металла (температуру, толщину и ширину раската — полосы), поступают от блоков преобразования сигналов соответствующих измерительных приборов. В качестве приборов используются оптические пирометры "Ардометры" и цветные "Ардоколы" с различными диапазонами измерений, изотопные и рентгеновские толщинометры и ширинометры.

Своевременное начало процесса измерения обеспечивает система отображения на соответствующих технологических участках стана. При этом в черновой группе стана для каждого параметра производится только одна серия замеров (серия состоит из восьми единичных замеров параметров процесса и 30 параметров метал-

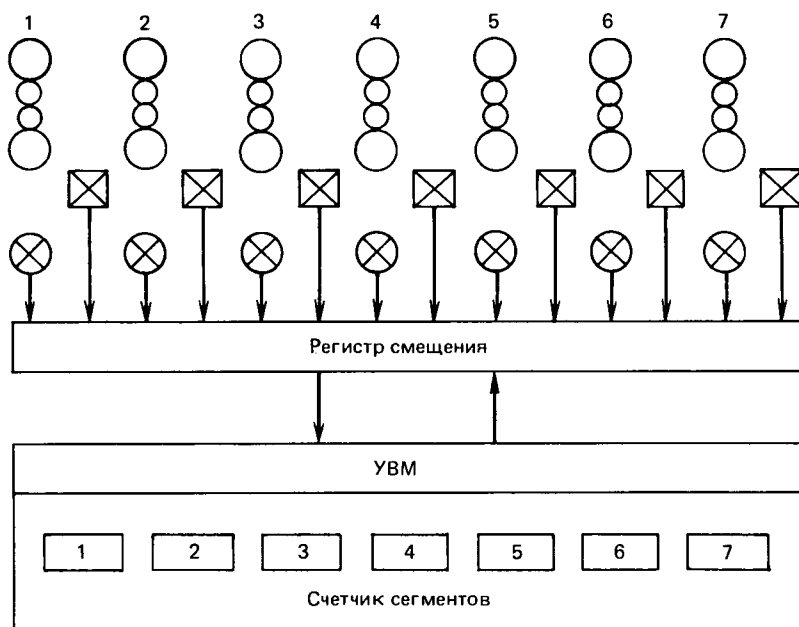


Рис. 4.13. Схема формирования сегментов чистовой группы клеток (1 - 7) стана:

8 — датчик усилий прокатки; 9 — датчик скорости

ла), а в чистовой группе и на участке охлаждения полосы — многосерийное измерение: осуществляется так называемое сегментирование полосы. Серии замеров повторяются в этом случае на каждом сегменте полосы (рис. 4.13).

Необходимость сегментирования полосы на участки объясняется резким удлинением раската в процессе его деформации в чистой группе стана и связанным с этим существенным разбросом параметров технологического процесса и раската. Иницирующие сигналы на измерение этих параметров во время движения раската по клетям чистой группы к участку охлаждения вырабатываются устройствами, установленными на соответствующих технологических участках.

Система сбора и обработки результатов измерений достаточно надежна и универсальна. Гибкая структура математической модели и хорошо продуманная логическая связь с другими системами АСУТП позволяют оперативно решать все возникающие в этой области задачи.

На рис. 4.14 представлена схема отображения положения металла на участках моталок.

Система сопровождения металла технологической и производственной информацией способна хранить информацию о 616 слябах и 72 раскатах.

Кроме рассмотренных функций АСУТП 2 обеспечивает: передачу необходимой информации в локальные системы управления; ведение протокола работы оборудования или хода технологического процесса; статистическую обработку параметров процесса прокатки, показателей качества продукции; представление необходимой технологической и производственной информации в АСУ цехом.

Идентификация прокатываемых полос и готовой продукции с областью памяти УВМ С-306, содержащей исходные данные и текущую информацию о конкретном типоразмере, стыковка УВМ с вычислительным комплексом АСУ цехом позволили автоматизировать управление складами горячекатаных рулонов и готовой продукции.

Одним из основных путей повышения производительности технологического оборудования прокатного производства является улучшение его технического обслуживания, включая меры по своевременному обнаружению аварийных и предаварийных ситуаций,

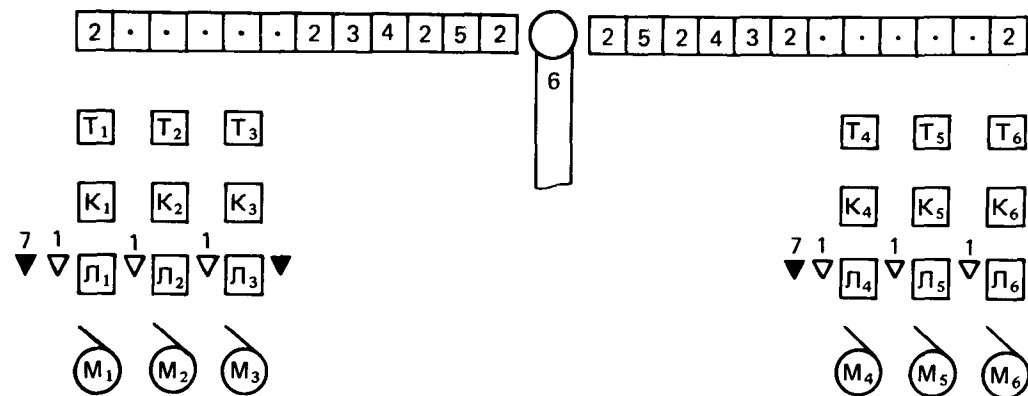


Рис. 4.14. Схема отображения положения металла на участке моталок:

1 – локальные фотодатчики; 2 – секции транспортера; 3 – вязальная машина; 4 – весы; 5 – маркировщик; 6 – подъемно-поворотный стол; 7 – граничные фотодатчики; М₁ – М₆ – моталки; Л₁ – Л₆ – люльки для приема рулонов; К₁ – К₆ – кантователи рулонов; Т₁ – Т₆ – тележки для перемещения рулонов

определению технического состояния объектов, которые вследствие воздействия внешних и внутренних факторов изменяются с течением времени.

Знание характера и момента изменений, происходящих в объекте, позволяют обслуживающему персоналу использовать оборудование оптимальным образом, т.е. с наибольшей эффективностью и в кратчайшее время осуществлять ремонт, и, тем самым, повышать его надежность.

Своевременное обнаружение аварийных и предаварийных ситуаций определяется функционированием системы диагностики неисправностей электрооборудования стана.

Для каждого сигнала о состоянии оборудования УВМ С-306 находится соответствующий текст, ранее введенный в массив памяти на дисках, и обеспечивает его регистрацию на печатающих устройствах, установленных в диспетчерских машинного зала электрооборудования и цеха сетей и подстанций комбината. Дежурный персонал, получая оперативные сообщения, ведет анализ состояния оборудования, устанавливает причины возникновения неисправностей и принимает меры к их устранению.

Системы управления черновой и чистовой группами клеток стана

В составе АСУТП 2 черновой группы клеток функционируют восемь локальных систем автоматизации, которые принимают от УВМ С-306 уставки для их дальнейшей отработки на исполнительных механизмах. Локальные системы контролируют работу электродвигателей приводов вертикальных и горизонтальных валков, приводов нажимных устройств, линеек, ножниц и рольгангов, а также системы гидросбива окалины, подачи воды для охлаждения валков и шириномера.

УВМ С-306 используется для расчета уставок на первые клетки черновой группы (работающие в режимах раздельного или совместного управления) и непрерывную группу клеток. Уставки в локальные системы могут быть заданы без машинного расчета (техническим персоналом), с машинным расчетом в режиме советчика технологу и автоматически с помощью УВМ (рис. 4.15 и 4.16).

Основной задачей УВМ С-306 является расчет распределения общего обжата по толщине и ширине сляба по заданному числу



Рис. 4.15. Пульт управления чистовой группой клеток стана



Рис. 4.16. Машинный зал АСУТП стана 2000

активных (работающих) клеток. Цель этого расчета — получение подката требуемого размера для чистовой группы клеток стана без превышения максимального и абсолютного обжатий по толщине и ширине раската, а также усилия, момента и мощности прокатки.

Расчет параметров технологического процесса осуществляется по соответствующим уравнениям математической модели черновой группы клеток. Уравнения представляют собой функции, заданные в неявном виде относительно определяемого параметра. Например, величина усилия прокатки F является функцией температуры металла, толщины сляба — раската, ширины, относительного обжатия и свойств прокатываемого металла при температуре деформации. Вместе с тем, F является функцией взаимосвязи перечисленных параметров. В алгоритмах вычислений параметров настройки черновой группы стана используются предварительные и уточняющие расчеты. Расчет проводится последовательно по клетям в соответствии с ходом прокатки; по его результатам выполняется уточнение режима обжатий и параметров прокатки.

Исходными данными для определения режимов обжатий являются параметры сляба и готового раската, и вместе с тем ряд коэффициентов коррекции, отражающих текущее состояние поверхности валков, колебания температуры прокатки металла, режим натяжения раската в клетях непрерывной подгруппы. Применение адаптационных коэффициентов коррекции позволяет в значительной мере уменьшить величину ошибки расчетов.

На рис. 4.17 представлена схема взаимодействия системы сбора и обработки измерений с управляющей частью АСУТП. Взаимодействие направлено на выявление коэффициентов коррекции для адаптации математических уравнений путем сопоставления расчетных и фактических величин управляемых параметров процесса.

Программы адаптации уравнений математических моделей в чистовой группе клеток и участка охлаждения построены по такому же принципу. В результате автоматического определения коэффициента адаптации вся система обладает качеством самообучения.

Стратегия распределения обжатий металла по горизонтальным клетям черновой группы стана формируется на основе так называемых базовых планов прокатки сляб — раскат. Планы по-

Для каждой клетки выборочно:

относит. мощность
относит. усилие прокатки,
абсолют. усилие прокатки.

Стратегия прокатки

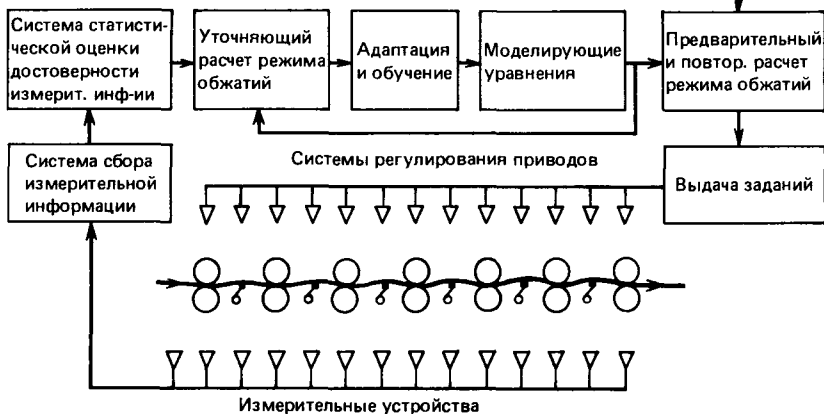


Рис. 4.17. Схема адаптации математических моделей управления процессом

лучены методом статистической обработки и последующей оптимизации режимов обжарки, выполненных путем ручной настройки клеток. Всего разработано 30 базовых планов применительно к условиям одновременной работы всех горизонтальных клеток черновой группы и 5 — на случай выхода из строя одной клетки.

Каждый базовый план представляет собой комплект относительных обжатий по клетям для слывов, размеры которых характеризуются диапазоном толщины и ширины. При переходе от базового плана к плану, соответствующему конкретным размерам партии слывов и заданным размерам готовых раскатов, применяется метод пропорциональной коррекции исходного комплекта относительных обжатий.

Благодаря предварительному и последующим уточняющим вычислениям определяется режим обжатий металла в горизонтальных клетях, являющийся основой расчета толщины металла на входе и выходе из клетей, усилия прокатки в каждой клети, моментов прокатки и др. Точность получения заданной толщины готового подката обеспечивается контуром обработки связи, ис-

пользующим величину разности между заданным и истинным значениями толщин подката для коррекции расчета уставок локальных автоматических систем управления приводами нажимных винтов горизонтальных клеток (рис. 4.18).

По аналогии с горизонтальными клетями были разработаны и внедрены базовые схемы, представляющие собой совокупность обжатий раската в каждой из вертикальных клеток. Выбор рациональной схемы осуществляется по матрице, параметрами которой являются толщина, ширина, а также суммарное боковое обжатие с учетом величины уширения в горизонтальных клетях черновой группы.

Рассмотренный метод управления вертикальными клетями осуществляется на всем сортаменте стана, не вызывая перегрузки оборудования и потери устойчивости раската.

Задача формирования оптимального температурного режима прокатки, обеспечивающая получение регламентируемой температу-

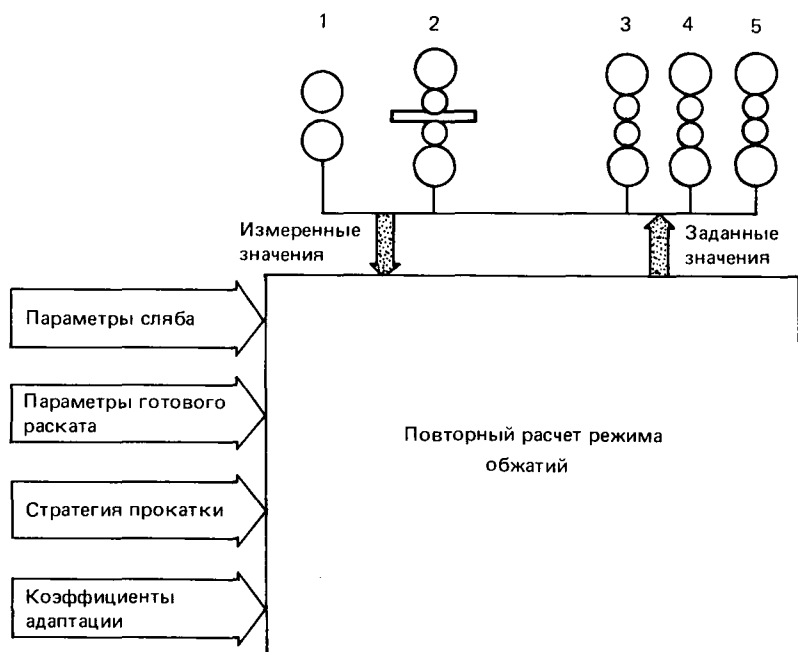


Рис. 4.18. Схема коррекции настройки черновой группы клеток (1 – 5) стана

ры подката на выходе из последней клетки черновой группы стана, решается методом оптимизации режима нагрева слябов.

Объединение трех клеток черновой группы в непрерывную подгруппу обусловило необходимость создания систем, обеспечивающих равенство секундных объемов металла, движущихся через очаги его деформации. В противном случае возникают горизонтальные усилия растяжения или сжатия (подпора), действующие со стороны смежных клеток подгруппы на раскат. Неконтролируемый рост усилий натяжения (подпора) может привести к изменению размеров раската или к снижению его устойчивости в клетях.

На непрерывной подгруппе черновых клеток используется прямой контроль межклетевых натяжений без создания на раскате силовой петли. Принцип контроля основан на измерении горизонтальных сил, действующих по поверхности подушек рабочих валков со стойками станин.

Система автоматического управления скоростным режимом, созданная на базе датчиков горизонтальных сил, корректирует скорости приводов соответствующих клеток непрерывной подгруппы, исключая их влияние на межклетевое натяжение.

Основными функциями УВМ С-306 в управлении процессом прокатки в чистовой группе клеток стана являются: рациональное распределение общего обжатия подката по клетям чистовой группы, определение скорости привода валков соответствующих клеток и ускорения всей группы с целью получения готовой полосы с требуемыми стандартом толщиной и планшетностью, а также с заданной температурой за последней клетью стана. При этом параметры процесса прокатки не должны выходить за пределы ограничений.

Управление чистовой группой клеток производится по трем режимам, последовательно расширяющим возможность регулирования процесса прокатки (рис. 4.19). Режим предварительной настройки характеризуется подготовкой чистовой группы стана к прокатке металла по результатам расчета, выполненного на основе данных о подкате, находящемся на промежуточном рольганге. В режиме коррекции настройки, основанной на предыдущем расчете, осуществляется уточнение настройки еще не нагруженных клеток по результатам прокатки металла в первых двух клетях чистовой группы. Дополнительный расчет обеспечивает окончательную настройку механизмов стана с учетом возможности коррекции величин растворов валков нагруженных клеток, получен-

ной в результате расчета по параметрам процесса прокатанного участка полосы (рис. 4.20). Результаты расчета вводятся в виде уставок в системы автоматического регулирования и управления.

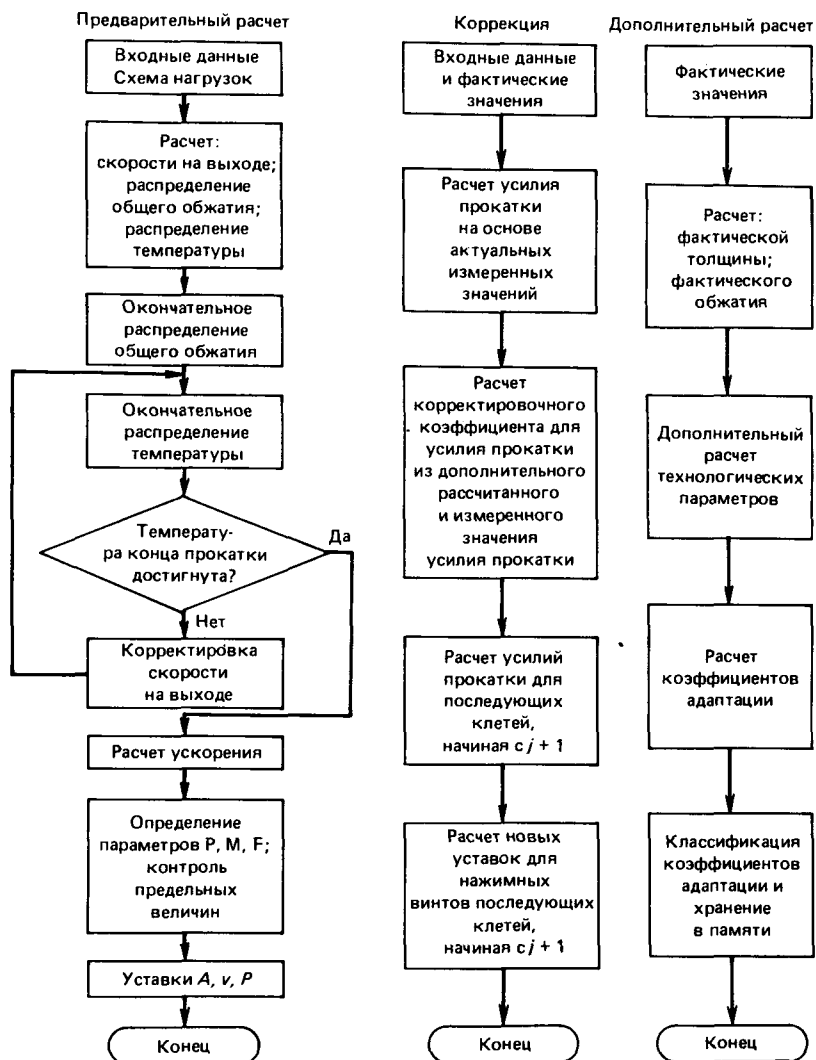


Рис. 4.19. Алгоритм расчета режима обжатий чистой группы клеток стана

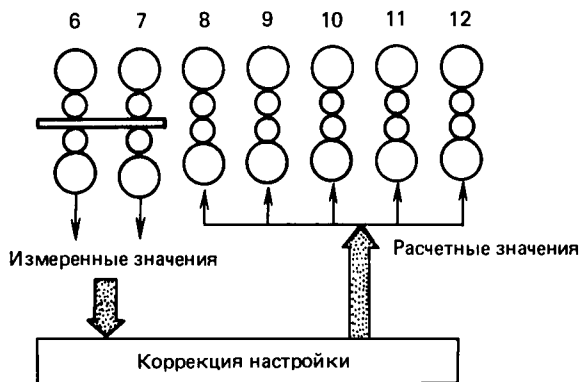


Рис. 4.20. Схема коррекции настройки чистовой группы клеток (6 – 12) стана

В математической модели процесса прокатки используются адаптационные уравнения и уравнения, заданные в неявном виде относительно определяемого параметра. Принцип адаптации коэффициентов и метод решения уравнений аналогичны принципу и методу, использованным в модели черновой группы клеток.

Структура алгоритма расчета настройки отвечает лучшим системам подобного рода.

При предварительном расчете программы обжати́й применяются эмпирические зависимости, справедливые для данного стана; такой подход оправдан высокой точностью моделей, хотя и требует значительного статистического материала.

Исходными данными для расчета режима прокатки в чистовой группе клеток являются: стратегия прокатки; параметры раската, находящегося на промежуточном рольганге стана; заданные параметры готовой полосы; ряд адаптационных коэффициентов, характеризующих свойства прокатываемого металла и состояние технологического оборудования. В качестве параметров раската используются результаты замера его толщины, ширины и температуры за последней черновой клетью стана, а в случае их отсутствия — расчетные значения этих величин, взятые из модели настройки черновой группы. Заданные значения толщины готовой полосы и температуры конца прокатки определяются из массива данных соответствующей партии слэбов.

Температура входа подката в чистовую группу стана определяется расчетом, основанием которого служат результаты измерения температуры раската за последней клетью черновой группы стана и расчетные потери тепла на излучение за время нахождения его головной части на промежуточном рольганге.

Распределение обжатий металла по клетям чистовой группы стана является одним из важнейших условий получения готовой полосы требуемого качества. В ходе освоения АСУТП 2 изучалась возможность применения различных методов формирования режимов обжатий. Исследовались базовые планы обжатий, составленные по аналогии с планами, применяемыми на черновой группе клетей. Однако опыт деления суммарного обжатия на частные показал, что обеспечивая равномерную загрузку клетей и получение требуемой толщины проката, оно не гарантирует получение готовой полосы без волнистости и коробоватости. Поэтому было принято при перестройках, связанных с необходимостью существенного перераспределения обжатий по клетям, применять ручную настройку. После достижения устойчивого процесса прокатки (обычно после прокатки двух – трех полос) управление передается УВМ, которая использует результат ручной настройки в качестве базового распределения обжатий по клетям.

Основным критерием расчета скорости и ускорения процесса прокатки является требуемая температура конца прокатки. Расчет скорости прокатки для последней клетки стана начинается с определения предварительного значения ее в функции толщины полосы. С целью уточнения величины скорости прокатки путем привязки ее к заданной температуре конца прокатки применяется метод итерации, учитывающий: изменения температуры полосы за счет излучения и теплообмена при изменении скорости прокатки; актуальную величину коррекции тепловой модели полосы; заданные и рассчитываемые температуры конца прокатки. Процесс итерации заканчивается, когда разница между расчетным и заданным значением температуры конца прокатки не превышает $0,75^{\circ}\text{C}$ или после выполнения 10 циклов итерации.

После определения скорости, обеспечивающей получение заданной температуры конца прокатки, выполняется расчет скоростей прокатки для всех клетей чистовой группы стана на основе равенства секундных объемов металла. По результатам расчета скорости прокатки в каждой клетке чистовой группы стана определяются окружные скорости валков соответствующих клетей и обеспечивается ввод этих величин в локальные системы автоматического регулирования.

В случае, если измеренная температура конца прокатки головной части полосы отклоняется от заданной, УВМ осуществляет коррекцию скорости ее прокатки в пределах до 5 % (рис. 4.21).

Ускорение процесса прокатки применяется в первую очередь для компенсации падения температуры металла по длине полосы из-за неизбежного накапливания в функции длины подката времени ожидания момента входа его в валки чистой группы клетей.

Скорость прокатки хвостовой части полосы определяется исходя из ожидаемой температуры ее входа в чистовую группу клетей и требуемой температуры конца прокатки по методике, аналогичной применяющейся для расчета скорости прокатки головной части полосы. Расчетное ускорение обеспечивает повышение скорости от ее начального значения до величины, необходимой для прокатки хвостовой части полосы.

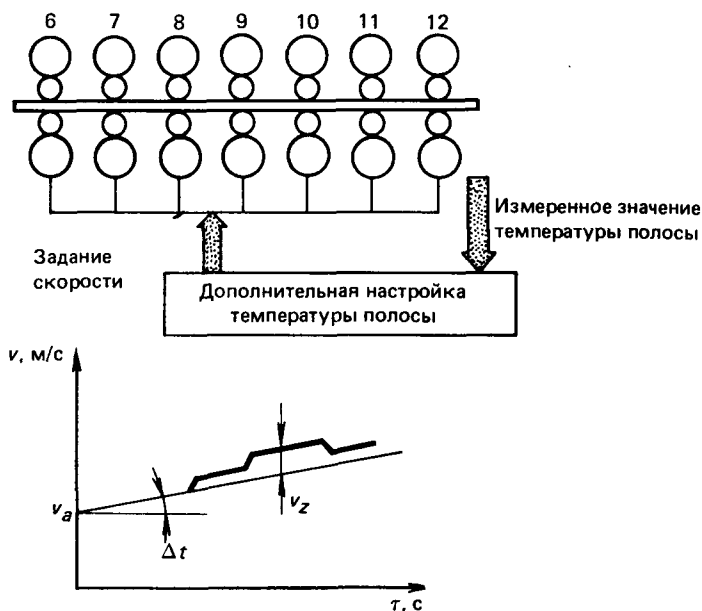


Рис. 4.21. Дополнительная настройка температуры полосы в чистой группе клетей (6 – 12) стана:

v_a – скорость выхода головной части полосы из последней активной клетки; Δt – увеличение температуры; v_z – задание скорости; τ – время, с

В ходе эксплуатации системы были случаи возникновения асинхронных перепадов температуры до 20 – 30⁰С по длине раската. Такие раскаты, следуя друг за другом к чистовой группе стана, вызывали "раскачку" модели расчета ускорения чистовой группы стана. Устойчивость системы была достигнута за счет ввода в математическую модель расчета ускорения (дополнительно разработанную модель теплового излучения хвостовой части раската) полного температурного профиля проката после клетки № 5 стана. Перечисленные меры позволили повысить достоверность расчета ускорения чистовой группы стана и получить заданный температурный профиль готовой полосы.

Обеспечение заданной точности прокатки полос по толщине в чистовой группе клеток стана осуществляется с помощью систем автоматического регулирования толщины (САРТ). Колебания толщины по длине полосы обуславливаются в общем случае следующими причинами: неоднородностью физико-механических свойств металла в различных сечениях по длине полосы; остыванием непрокатанной части раската, поступающего в чистовую группу клеток; колебаниями натяжения в процессе прокатки, например при прокатке переднего и заднего концов; разнотолщинностью подката; изменением зазора между рабочими валками и др.

САРТ полосы фирмы "Сименс" относится к классу систем с воздействием на электропривод нажимных винтов. Система включает в себя регуляторы зазора рабочих валков клеток чистовой группы и устройство выработки корректирующего сигнала по выходному толщиномеру (регулятору толщины). Система построена на модульных элементах "Трансидин" и "Симатик".

Регуляторы зазора обеспечивают постоянство толщины полосы относительно переднего конца. Для повышения точности регулирования и уменьшения влияния эксцентриситета валков в каждом регуляторе вырабатывается дополнительный сигнал для коррекции изменения зазора.

Регулятор толщины предназначен для коррекции зазоров рабочих валков клеток чистовой группы стана при отклонении толщины готовой полосы от заданного значения. Выходные сигналы регулятора толщины как и сигналы регулятора зазора выдаются в виде последовательности импульсов и используются для изменения заданий позиционным системам управления нажимными винтами.

Система управления нажимными устройствами и автоматическо-

го регулирования толщины полосы (рис. 4.22) построена по каскадному принципу с несколькими подчиненными контурами — регулирования скорости, цифровой позиционной системы регулирования, регулирования раствора нагруженных валков.

В схемах позиционного регулирования применяются дискретные датчики действительного значения. Дискретные системы обеспечивают весьма высокую разрешающую способность и простоту калибровки. Цифровые датчики раствора валков непосредственно связаны со шпинделями и вырабатывают импульсы, число которых пропорционально шагу винта. Импульсы, поступающие от обоих датчиков, суммируются в соответствующих счетчиках действительных значений. Для контроля работы дискретных датчиков используются датчики Холла. Позиционный регулятор включает в себя функциональные схемы "цифрового формирования разности" (9) и "цифро-аналогового преобразователя" с "узлом формирования уставок скорости" (3).

По содержимому счетчиков заданных и действительных величин путем сравнения вычисляется абсолютная величина и знак разности. В цифро-аналоговом преобразователе формируется с учетом знака значение тока, пропорциональное разности между заданным и действительным значениями пути. Зависимость между заданной величиной скорости перемещения и разностью между заданной и действительной величинами пути определяется узлом согласования (рис. 4.23).

В ручном режиме уставка раствора валков может быть задана с пульта управления чистовой группой клетей стана, одновременно существует возможность ввода уставок с помощью УВМ.

Поперечная разнотолщинность прокатываемого металла (серповидность) устраняется путем перекоса валков относительно среднего положения. Содержимое счетчика действительных значений индицируется на пульте управления с помощью светящихся цифр. Наряду с собственно позиционным регулированием существует цифровая система синхронизации (6), блокируемая при управлении перекосом валков. Перекос относительно положения достигается за счет подключения к регуляторам скорости дополнительных уставок с противоположными знаками. Величина перекоса поступает в цифровой узел формирования разности (6а), а затем на индикаторное устройство (см. рис. 4.22).

При ручном управлении нажимным устройством — без позиционирования — счетчик заданных величин автоматически отслежи-

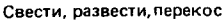


Рис. 4.22. Структурная схема автоматического регулирования нажимными устройствами:

I – система регулирования скорости; *II* – цифровая позиционная система регулирования; *III* – система регулирования раствора нагруженных валков; *sO** – установка раствора ненагруженных валков; *s* – индикация среднего значения положения; $\pm s$ – индикация среднего значения перекося; *F* – усилие прокатки; *cF* – упругая деформация; *R* – ввод данных от УВМ; 1 – счетчик заданного значения положения валков; 2 – счетчик действительного значения положения валков; 3 – узел формирования уставок скорости; 4 – динамический цифровой узел формирования среднего значения скорости; 5 – счетчик действительных значений; 6 – система синхронизации; 6а – определитель величины перекося валков; 7 – регулятор скорости; 8 – регулятор тока; 9 – цифровой формирователь разности; 10 – формирователь действительного значения скорости; 11 – устройство калибровки; 12 – счетчик изменений уставок; 13 – ограничитель; 14 – счетчик определения эксцентриситета; 20 – адаптация коэффициента усиления; 21 – характеристика клетки; 22 – формирователь разности усилий прокатки

вает перемещение винтов. Благодаря этому при включении позиционного регулятора исключается возврат нажимных устройств в первоначальное положение, в котором они находились к моменту перехода на ручное управление.

В системе предусмотрена полуавтоматическая калибровка, т.е. приведение в соответствие дискретного положения валков с определенным цифровым значением действительной величины. При

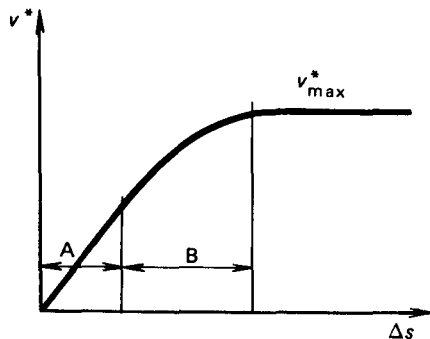


Рис. 4.23. Характеристика позиционного регулятора:

v^* – заданное значение скорости перемещения; s – действительная величина пути; s^* – заданное значение пути; $\Delta s = s^* - s$; *A* – линейный участок; *B* – квадратичный участок

калибровке валки сближаются до тех пор, пока не будет достигнуто определенное, установленное для данной клетки усилие. Пороговое устройство, настроенное на заданное усилие калибровки, устанавливает счетчик действительных величин на соответствующее число, и сближение валков прекращается. Оптический индикатор сигнализирует обслуживающему персоналу об окончании процесса калибровки.

Системы регулирования раствора нагруженных валков и толщины полосы имеют следующие особенности. Необходимая для коррекции нажимных устройств величина ds (рис. 4.24) образуется с помощью цифро-аналогового преобразователя. Пропорциональный усилию прокатки ток поступает в согласующий усилитель, что позволяет путем изменения коэффициента усиления проводить согласование с модулем упругости клетки. Величина тока, поступающего на дифференциальный усилитель (16) сравнивается с током цифро-аналогового преобразователя. На основе разности токов с учетом знака в счетчиках (14) происходит подсчет импульсов, получаемых от генератора частоты (18). Таким образом, получают содержимое счетчика, которое соответствует усилию прокатки вскоре после входа металла в клеть. Возникающие с этого момента времени изменения усилия прокатки в виде счетных импульсов (количество которых определяется величиной ds) поступают в систему управления нажимным устройством (см. рис. 4.22).

В ручном режиме работы величина упругой деформации запоминается блоком памяти (15) при достижении требуемых условий —

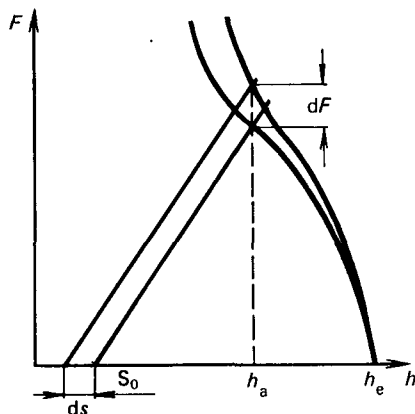


Рис. 4.24. Зависимость между упругой деформацией клетки и необходимым изменением пути нажимных устройств ($ds = cdF$): h_e — толщина на входе; h_a — толщина на выходе; s_0 — раствор нагруженных валков; F — усилие прокатки

нужной толщины и правильного распределения нагрузок. При работе с УВМ данные по упругой деформации и зазору ненагруженных валков задаются до входа полосы в стан.

Регистры памяти запоминают все изменения, происходящие в процессе пропуска полосы. После прохождения полосы зафиксированное запоминающим устройством количество импульсов передается в узел задания положения нажимных устройств с обратным знаком. Происходит восстановление начального раствора ненагруженных валков.

Особое внимание уделяется эксцентриситету валков. Частота колебаний усилия прокатки, возникающая благодаря эксцентриситету валков, значительна, поэтому фильтрация сигнала усилия прокатки без существенного влияния на динамику регулирования невозможна. Колебания усилия прокатки вследствие ложной отработки регулятора давали бы периодическое изменение толщины. Предусмотрена зона нечувствительности, в пределах которой допускается изменение усилия прокатки. Настройка этой зоны имеет большое значение для точности регулирования раствора нагруженных валков. В практическом исполнении зона нечувствительности реализована путем изменения чувствительности срабатывания аналого-цифрового преобразователя. По запатентованной схеме коэффициент усиления дифференциального усилителя (16) изменяется в зависимости от содержимого счетчика (19), причем счетчик автоматически настраивается на фактический эксцентриситет специальной схемой управления.

Особое место среди систем автоматического регулирования, предназначенных обеспечить высокую точность геометрических размеров полосы и требуемые физико-механические свойства, занимает система автоматического регулирования межклетевых натяжений (САРН) полосы, которая в комплексе с другими локальными системами и УВМ обеспечивает автоматическое ведение процесса прокатки в чистовой группе клетей.

Одно из направлений в развитии САРН на станах горячей прокатки — создание систем на базе электромеханических петледержателей с безредукторным приводом; такая система применяется впервые, и приоритет принадлежит фирме "Сименс". Система построена на основе современной элементной базы, что обеспечивает высокие эксплуатационную надежность аппаратуры САРН и ремонтпригодность. Гарантированная точность поддержания величин удельных натяжений в чистовой группе клетей стана составляет $\pm 25 \text{ кН/м}^2$.

Вследствие увеличения массы слябов увеличились длины раскатов; прокатка полос большой длины при постоянной скорости вызывает существенное падение температуры металла, в связи с чем возникает необходимость разработки новых скоростных режимов прокатки.

Возможности оборудования современного стана позволяют применять более высокие ускорения и конечные скорости прокатки, но при этом резко повышается температура конца прокатки полос и выходит за пределы верхней допустимой границы. Поэтому все более полно используется система автоматического регулирования температуры конца прокатки с помощью УВМ и устройства межклетевого охлаждения полосы; эта система впервые реализована в СССР.

Применение межклетевого охлаждения полосы на стане (при суммарном расходе воды до $2000 \text{ м}^3/\text{ч}$, расходе воды в одном межклетевом промежутке до $500 \text{ м}^3/\text{ч}$ и давлении воды в коллекторах $0,6 - 0,8 \text{ МПа}$) позволяет повысить начальную скорость прокатки полос толщиной более 3 мм на $1,5 - 2 \text{ м/с}$, а прокатку полос толщиной до $3,5 \text{ мм}$ вести с ускорением группы клеток $0,2 - 0,25 \text{ м/с}^2$.

Система управления отводящим рольгангом и моталками стана

Комплекс оборудования выходного участка стана состоит из отводящего рольганга, моталки, машин обвязки и маркировки рулонов. На рис. 4.25 приведена структурная схема управления отводящим рольгангом. Приводы рольганга обеспечивают безупречную транспортировку полосы. Для этого система вырабатывает точные данные о ее скорости. Напряжение тахогенератора последней клетки из-за явления опережения в зоне деформации не является достоверной мерой скорости полосы. Поэтому с помощью преобразователя напряжения в частоту (8) и счетчика (9) производится коррекция напряжения тахогенератора с целью получения сигнала, соответствующего фактической скорости полосы. Коррекция осуществляется во время прохождения переднего конца полосы по фиксированному отрезку отводящего рольганга. Полученный поправочный коэффициент вводится в узел согласования (10) и используется аналоговой системой регулирования (7) и устройством отображения пути.

При выходе из последней клетки переднего конца полосы опере-

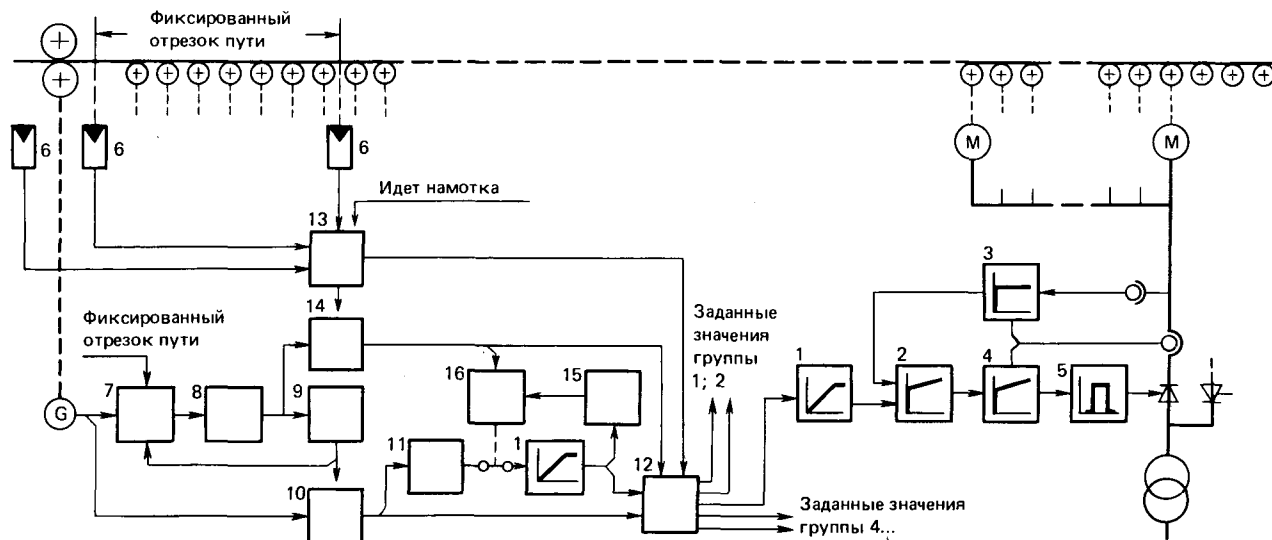


Рис. 4.25. Структурная схема управления отводящим рольгангом:

1 – датчик интенсивности; 2 – регулятор э.д.с.; 3 – узел формирования действительного значения э.д.с.; 4 – регулятор тока; 5 – система импульсно-фазового управления; 6 – фотореле; 7 – узел коррекции заданного значения скорости; 8 – преобразователь; 9 – счетчик; 10 – узел определения скорости полосы; 11 – запоминающее устройство; 12 – датчик; 13 – устройство управления; 14 – счетчик пути; 15 – узел расчета торможения; 16 – компаратор

жение отводящего рольганга способствует тому, чтобы полоса на рольганге оставалась распрямленной. Как только моталка захватывает конец полосы, опережение исключается, и рольганг работает без натяжения и подтормаживания полосы. После выхода заднего конца полосы из последней клетки ее скорость снижается.

При прокатке с ускорением клетки чистовой группы после выхода заднего конца полосы тормозятся до скорости заправки следующей полосы. Узел заданных значений скорости для хвостовой части стана (рольганг и механизмы моталок) незадолго перед выходом заднего конца полосы из чистовой группы переключается на запоминающее устройство для хранения уставок (11). Узел отображения пути (14) следит за положением заднего конца полосы на рольганге и переводит отдельные группы на скорость, опережающую скорость последней клетки. Таким образом достигается короткая пауза между полосами.

При повышенных скоростях торможение полосы проводится на рольганге, вычислительное устройство (15) определяет необходимый момент начала торможения, и конец полосы входит в моталку с заданной скоростью. Секции рольганга, на которых еще находится полоса, тормозятся синхронно с механизмами моталки в темпе, определяемом задатчиком интенсивности (1), как только компаратор (16) зафиксирует необходимость начала торможения. Задатчик уставок (12) выдает заданные значения скорости для отдельных групп рольганга с учетом опережения, синхронной работы или запаздывания по командам устройства управления (13).

На отводящем рольганге стана происходит активное формирование качества горячекатаных полос. Принудительное охлаждение прокатанных полос обеспечивает получение требуемой микроструктуры и заданных механических свойств металла.

Управление режимом охлаждения полос осуществляется автоматической системой фирмы "Сименс", соответствующей лучшим мировым образцам. Совокупность надежной работы оборудования и эффективной системы автоматического управления процессом охлаждения полос позволило получить продукцию высокого качества при высокой производительности стана.

Слежение за сегментами полосы на участке охлаждения осуществляется аналогично слежению за прокатом в чистовой группе стана (рис. 4.26). На рис. 4.27 представлена схема измерений технологических параметров, обеспечивающих отображение полосы на отводящем рольганге.

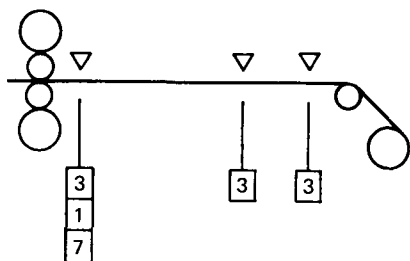


Рис. 4.26. Схема измерений технологических параметров на участке охлаждения стана (обозначения — см. рис. 4.11)

Управление режимом охлаждения полос, прокатанных на стане, выполняется с помощью УВМ С-306. Она определяет: количество открытых вентилях для подачи охлаждающей воды на полосы заданного сортамента, уровень открытия задвижек, температурный профиль полосы (распределение температуры металла по длине полосы), момент начала и интенсивность принудительного охлаждения в условиях неустановившейся скорости прокатки.

Общий расход воды, необходимый для охлаждения полосы до заданной температуры, определен теоретически и эксперименталь-

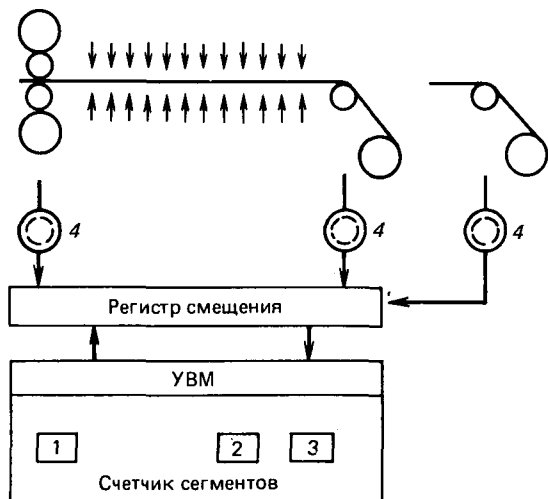


Рис. 4.27. Схема формирования сегментов участка охлаждения стана:

1 — 3 — см. рис. 4.11; 4 — датчики скорости

но. При этом построена матрица, связавшая 7 классов толщины полосы, составляющих весь сортамент стана, с расходом воды, достаточным для снижения температуры металла до предусмотренной технологическим процессом. На основе этой матрицы и результатов расчета времени охлаждения полосы при данной скорости ее перемещения по отводящему рольгангу УВМ определяет количество открытых вентилях и уровень подъема их задвижек. При этом УВМ учитывает величину коэффициента теплообмена α между полосой и водой, определенную экспериментально.

Данные для отработки температурного профиля полосы, момента начала ее охлаждения и интенсивности этого процесса УВМ получает в виде кодов, представляющих в зашифрованном виде результаты исследований оптимальных режимов охлаждения полос.

Код процесса охлаждения представляет собой трехразрядное число: первый разряд означает график охлаждения, который необходимо применить для получения заданного температурного профиля по длине полосы; второй — устанавливает номер первого открытого вентиля; третий — определяет матрицу работающих источников естественного и принудительного охлаждения.

При расчете используется математическая модель пластины твердого тела неограниченной площади. Исходными данными для расчета режима охлаждения полос являются выходные параметры модели настройки чистовой группы клетей: толщина и ширина готовой полосы, температура конца прокатки, скорость и ускорение процесса прокатки (величины этих параметров уточняются после выхода головной части полос на отводящий рольганг). Требуемая температура смотки полос и код охлаждения определяются из заданного массива данных на партию металла.

В результате определенного количества циклов расчета УВМ определяет состояние, в которое должны быть приведены вентили в процессе охлаждения полосы. При этом учитывается изменение скорости прокатки и заданный температурный профиль полосы (рис. 4.28).

Полученную таким образом матрицу состояния вентилях в пространстве и времени УВМ применяет для динамического ввода задания в локальную систему автоматики участка охлаждения по мере выхода полосы на отводящий рольганг стана. Возможная погрешность предварительного расчета параметров охлаждения полос, вызванная применением экспериментально полученных значений коэффициента теплообмена, компенсируется доста-

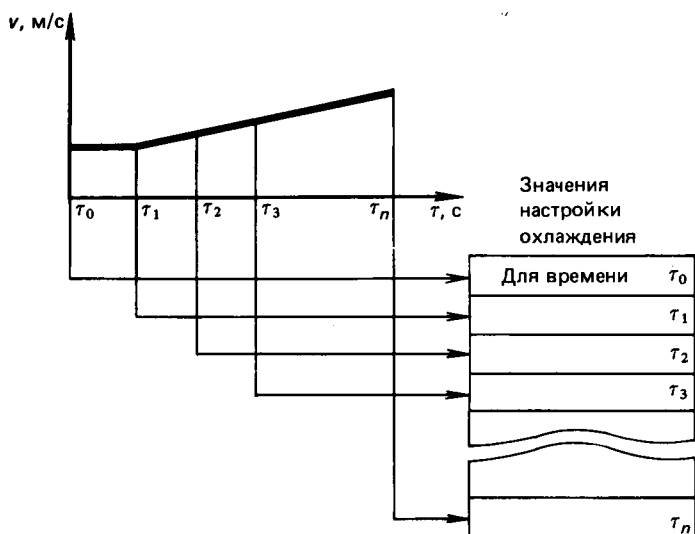


Рис. 4.28. Схема формирования заданных значений режима охлаждения

точно гибкой системой адаптации по результатам замера температуры полос до свертывания ее в рулон. Полученные в результате адаптации коэффициенты коррекции применяются в уравнениях математической модели для расчета параметров процесса охлаждения следующей полосы.

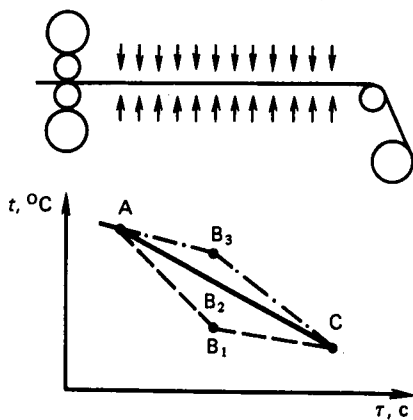


Рис. 4.29. График различных вариантов охлаждения полосы

Таблица 4.6 Механические свойства сталей, прокатанных с автоматическим режимом охлаждения

Н, мм	$v_3; v_k$, м/с	Код охлаждения	$t_{к.п.}$, °С	$t_{св.}$, °С	$v_{охл.}$, °С/с	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %
<i>Сталь ВСтЗсп</i>								
6	5,0; 7,5	432	850/890	620/650	5,6/7,0	450/460	290/300	32/27
8	4,5; 5,5	413	890/900	640/690	5,0/4,5	430/460	270/290	30/29
12	3,0; 4,0	412	850/890	640/690	3,0/3,0	460/470	310/310	31/29
<i>Сталь 09Г2С</i>								
6	5,5; 7,5	423	880/900	610/600	6,8/7,5	500/530	350/390	34/32
8	4,0; 5,5	413	890/895	590/645	5,5/5,5	510/520	370/375	33/30
12	2,5; 3,0	412	890/915	615/670	3,0/2,5	520/520	330/350	29/29
<i>Сталь 17Г1С</i>								
8	4,0; 6,0	422	880/890	620/690	5,0/5,5	545/585	370/410	29/27
10	3,5; 5,0	422	880/890	620/630	4,2/5,0	570/580	385/405	28/32
<p>П р и м е ч а н и е: Н — толщина полосы; v_3 и v_k — заправочная и конечная скорости прокатки; $t_{к.п.}$, $t_{св.}$ — температуры конца прокатки и смотки; $v_{охл.}$ — скорость охлаждения полосы в диапазоне температур $t_{к.п.} - t_{св.}$; числитель — значения для середины полосы, знаменатель — конца полосы.</p>								

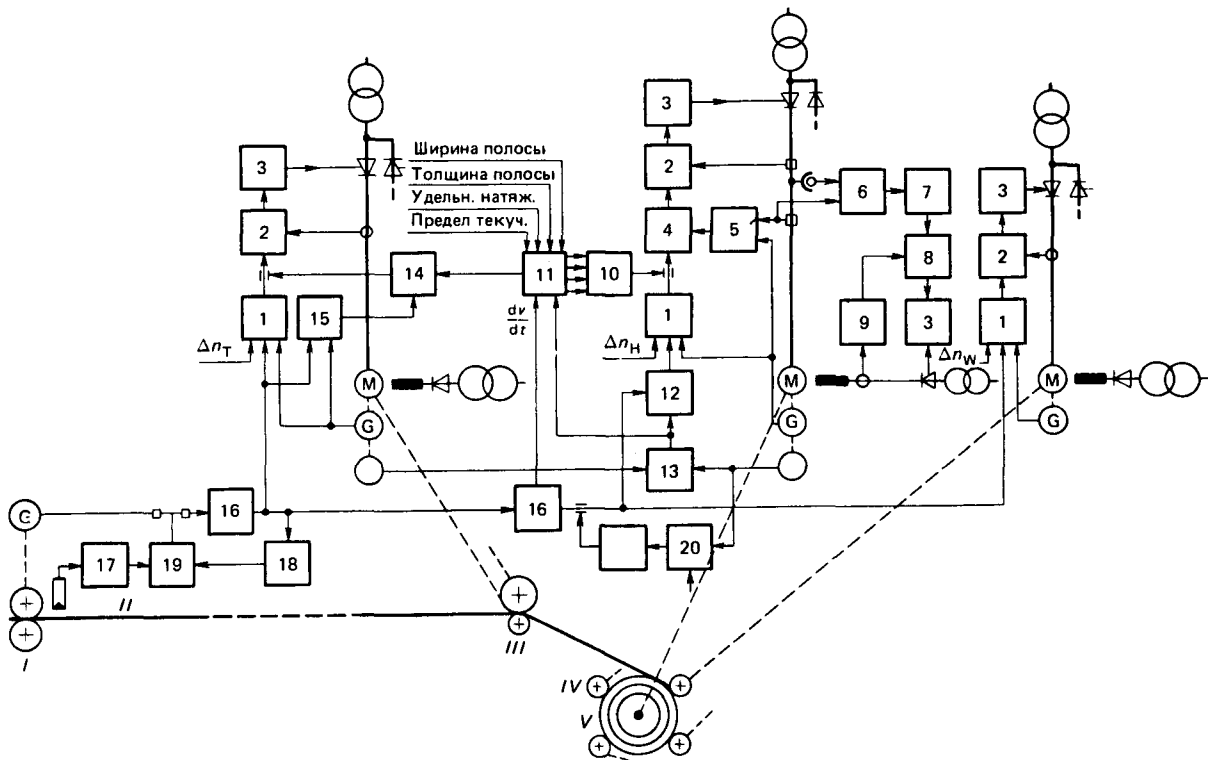


Рис. 4.30. Структурная схема автоматического регулирования моталок:

I – выходная клеть; *II* – фотоячейка; *III* – подающий ролик; *IV* – ролики намотки; *V* – барабан моталки; 1 – регулятор числа оборотов; 2 – регулятор тока; 3 – блок управления; 4 – регулятор момента вращения; 5 – формирователь истинного значения момента вращения; 6 – формирователь истинного значения э.д.с.; 7 – регулятор э.д.с.; 8 – регулятор поля; 9 – формирователь истинного значения возбуждения двигателя; 10 – регулятор ограничения момента вращения; 11 – формирователь заданного значения момента вращения; 12 – формирователь заданного значения числа оборотов; 13 – определитель диаметра; 14 – формирователь заданной величины натяжения подающим роликом; 15 – регулятор ограничителя числа оборотов; 16 – ограничитель ускорения; 17 – путевой счетчик конца полосы; 18 – определитель тормозного пути; 19 – сравнивающее устройство; 20 – счетчик угла вращения моталки; 21 – регулятор угла вращения; Δn_T – упреждение подающего ролика; Δn_H – упреждение барабана намотки; Δn_W – упреждение или запаздывание роликов намотки; φ^* – заданная величина угла

В конце первого и второго участков охлаждения полосы осуществляется с помощью прецизионных зон. По результатам измерений температуры полосы перед свертыванием в рулон определяется необходимость включения (выключения) дополнительных вентилях зон прецизионного охлаждения. На рис. 4.29 приведен в качестве примера график различных вариантов охлаждения полосы.

Применение УВМ С-306 для автоматического управления процессом охлаждения полос на отводящем рольганге стана 2000 создало благоприятные условия для производства горячекатаной стали в соответствии с требованиями стандартов и технических условий: максимальное отклонение температуры свертывания металла в рулоны (на 95,5 % длины полосы для первой группы моталок и на 99,5 % длины для второй группы моталок) от заданного значения составляет $\pm 20^\circ\text{C}$ и от среднего значения по длине полосы $\pm 17^\circ\text{C}$.

Результаты механических испытаний полос нескольких типоразмеров представлены в табл. 4.6.

После прокатки в чистой группе клетей и принудительного охлаждения на отводящем рольганге стана полосы подаются к одной из двух групп моталок. Процесс свертывания горячекатаных полос на моталках стана характеризуется большим ускорением и высокими скоростями.

Автоматизация процессов свертывания полосы и маркировки руло-

нов обеспечивает эффективное управление: скоростным режимом и точным остановом барабанов моталок, механизмами моталок, кантователями, приемниками и маркировщиками рулонов.

Для захвата полосы моталкой необходимо, чтобы окружная скорость барабана намотки на холостом ходу была больше скорости полосы. При входе "языка" полосы последний обводится роликами намотки вокруг барабана, при этом вследствие трения барабан затормаживается до скорости полосы. Полоса расправляется и происходит ее натяжение. В процессе намотки натяжение полосы остается постоянным, независимо от изменения диаметра рулона и скорости полосы, как при ускорении, так и замедлении (останове). Эти требования удовлетворяются при помощи регулирования момента вращения и тока приводного двигателя. Регулирование частоты вращения до основной скорости проводится через якорное напряжение, а выше основной скорости — через возбуждение электродвигателя. До получения требуемой частоты вращения регулятор э.д.с. осуществляет регулировку на максимальное возбуждение электродвигателя, а выше основной скорости — на постоянную э.д.с. Регулирование момента вращения сменяет регулирование частоты вращения, как только при падении оборотов двигателя моталки (обусловленном снятием упреждения при входе полосы и увеличением диаметра) разница между заданной и фактической величинами достигает такого показателя, при котором происходит перерегулирование частоты вращения. Величина выходного напряжения регулятора частоты вращения (рис. 4.30), а тем самым заданная величина для момента вращения определяются регулятором ограничения момента вращения (I_0), воздействующим на ограничительный вход регулятора частоты вращения. Заданная величина момента вращения, образованная регулятором ограничения момента вращения, складывается из компонентов для натяжения полосы, изгиба, ускорения и трения. Отдельные компоненты момента вращения образуются в решающей схеме на основе заданных цифровых данных полосы и диаметра рулона.

Диаметр рулона $D_B = D (\omega_T / \omega_H)$, где известный диаметр подающего ролика D_T задан числовым значением, а угловые скорости подающего ролика ω_T и барабана моталки ω_H выдаются приставкой задатчика углового шага в виде частоты импульсов. Составляющие момента вращения определяются следующим образом:

$$\text{момент натяжения } M_z = b d \sigma_z R;$$

момент изгиба $M_b = (b d^2 / 4) \sigma_b$;

момент разгона $M_a = J \frac{d\omega}{dt} = \left[\frac{\pi \rho b}{2} (R^2 - \frac{R_0^4}{R}) + \right. \\ \left. + \frac{J_H}{R} \right] \frac{dv}{dt}$;

момент трения $M_R = M_{RO} (1 + C m_b)$.

Здесь b — ширина полосы; d — толщина полосы; σ_z — удельное натяжение полосы; σ_b — предел термической текучести; R — радиус рулона; R_0 — радиус барабана; J_H — момент инерции моталки; M_{RO} — момент трения, измеренный перед входом полосы (на холостом ходу); dv/dt — ускорение или запаздывание полосы; C — коэффициент для учета доли трения от рулона; m_b — масса рулона; ρ — плотность.

После окончания процесса намотки барабан моталки останавливается таким образом, что конец полосы находится в зоне прижимных роликов тележки рулона, которые удерживают конец полосы при отведении роликов намотки и сталкивании рулонов с барабана моталки. Обеспечение подачи полосы в нужную позицию независимо от скорости полосы и диаметра рулона достигается тормозной автоматикой с цифровым управлением и регулированием угла. Счетчик пути (17) задает путь конца полосы. Решающая схема (18) определяет тормозной путь так, чтобы конец полосы при постоянном замедлении ограничителя ускорения (16) проходил через подающий ролик с одной определенной скоростью. Вентиль совпадения (19) сравнивает расчетный тормозной путь с позицией, которую занимает конец полосы и, при их совпадении, подает команду наматывающему устройству на торможение. Необходимые еще для транспортировки полосы группы рольганга, подающий ролик, барабан моталки и ролики намотки затормаживаются синхронно, причем натяжение полосы между подающим роликом и барабаном сохраняется. Когда конец полосы проходит подающий ролик, он вновь переключается на скорость прокатки плюс упреждение, а привод барабана включается для регулирования угла с целью позиционирования конца полосы.

Угловой регулятор (21) выдает заданную величину скорости в зависимости от оставшейся для прохождения величины угла и соответствующего момента инерции моталки так, чтобы независимо от размеров рулона привод останавливается всегда по оптимальному варианту. Счетчик пути вращения (20) устанавлива-

ется сначала на расстояние "подающий ролик — рулон" и подсчет производится при помощи импульсов, зависящих от пути, в направлении нуля, а затем переключается на угловые импульсы, постоянно следя за концом полосы. Если при "нуле" счетчика вращения привод моталки не может занять заданной позиции, то с помощью регулятора угла вращения (21) моталка осуществляет еще один оборот и затормаживается в пределах заданного угла.

5 АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Проблемы управления производством возникают по мере увеличения его масштабов и неразрывно связаны с расширением номенклатуры и увеличением степени сложности продукции, оснащением технической системы производства высокопроизводительным оборудованием, интенсификацией технологических процессов.

Крупнейшие металлургические агрегаты — доменная печь № 5, конвертеры, машины непрерывного литья заготовок, широкополосный стан горячей прокатки — эффективны при согласованной работе в составе единого, интегрированного комплекса.

Организация работы транспорта также существенно влияет на ритм работы металлургических агрегатов: качество шихты доменного и сталеплавильного производств жестко зависит от ввоза сырья и топлива; своевременность выпуска чугуна и доставки его в конвертерный цех, цикличность отгрузки готовой продукции, складирование всех видов сырья и полуфабрикатов — связаны с транспортом. Этот сложный комплекс как объект управления предъявляет высокие требования к управляющей системе, ее масштабам и качественным характеристикам.

Реализованная автоматизированная система управления производством обеспечивает сбор и обработку информации о ходе производства, формирует оперативные данные, необходимые управленческому персоналу цехов для принятия решений. Система управления способствует повышению эффективности производства за счет четкой синхронизации работы агрегатов большой единичной мощности на основе взаимосвязи технологических возможностей и технико-экономических показателей [4].

5.1 ЗАДАЧИ И ОРГАНИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

Главной задачей системы управления производством металлургического комплекса является обеспечение выполнения заказов потребителей на металлопродукцию в установленные сроки, в пол-

ном объеме и с наименьшими затратами (табл. 5.1). Эта задача включает в себя: обработку заказов и планирование производства; слежение за металлом; учет выполнения заказов и отгруженной продукции.

При обработке заказов выполняются: контроль на соответствие специализации металлургических агрегатов; проверка правильности загрузки производства в физическом объеме и по фонду рабочего времени агрегатов; формирование плана поставок металлопродукции по месяцам квартала.

При составлении плана поставок продукции осуществляется стоимостная оценка заказов; определяется потребность в металле

Таблица 5.1 Состав задач обработки заказов потребителей

Наименование задач	Периодичность решения	Потребители выходной информации
1. Ввод заказов в ЭВМ и их логический контроль	По мере поступления заказов	ГВЦ; ПСО
2. Контроль заказов на соответствие специализации металлургических агрегатов	То же	ПСО
3. Проверка заказов на соответствие протоколу загрузки	"	ПСО
4. Проверка заказов на соответствие производственным мощностям металлургических агрегатов	"	ПСО
5. Формирование массива и ведомостей заказов, принятых к исполнению	"	ПСО
6. Стоимостная оценка заказов	"	ПСО; ПЭО; ФО
7. Распределение квартальных объемов заказов по месяцам	Квартал	ПСО
8. Составление плана (ведомостей) поставок металлопродукции на месяц	Месяц	ПСО; ПРБ
9. Расчет (фабрикация) производства металлопродукции по маркам стали, профилям и размерам	"	ПРБ
10. Расчет потребности металла по переделам	"	ПРБ
11. Расчет загрузки агрегатов на переделах сталеплавленного и прокатного цехов	"	ПСО
12. Расчет потребности в ферросплавах, легирующих добавках, огнеупорах и др.	"	ПСО
13. Формирование месячных планов перевозок (по железнодорожному, железнодорожно-водному сообщениям)	"	ПСО

по переделам, рассчитывается загрузка агрегатов сталеплавильного и прокатного производств; определяется потребность в ферросплавах, огнеупорах и т.д.; формируются месячные планы перевозок. План поставок составляется в виде ведомостей заказов, подлежащих выполнению в данном месяце, и передаются в цехи для исполнения.

При решении задач фабрикации выполняется расчет потребности в слябах и объемов производства готовой продукции в развернутом сортаменте по каждому агрегату на основе принятых к исполнению заказов на планируемый период. Признаками, характеризующими позиции развернутого сортамента (сквозного по переделу), являются: способ выплавки и марка стали, типоразмер сляба, профилируемый, технические условия, вид обработки, условия поставки.

Расчет начинается от конечного передела (цехов холодной прокатки, гнутых профилей) и ведется по листопрокатному цеху до конвертерного производства включительно.

Фабрикация производства металлопродукции по переделам состоит из трех (9 – 11) последовательно решаемых задач: расчет (фабрикация производства металлопродукции по маркам стали и профилируемым; расчет потребности металла по переделам; расчет загрузки агрегатов на переделах конвертерного и прокатных цехов (см. табл. 5.1).

Фабрикация осуществляется в два этапа. На первом этапе (15 – 20 числа месяца, предшествующего планируемому) проводится расчет потребности в полуфабрикатах и объемов производства готовой продукции исходя из плана поставок металлопродукции по заказам, являющегося результатом решения задач 7 – распределение квартального объема заказов по месяцам и 8 – составление плана (ведомостей) поставок металлопродукции на месяц. На втором этапе (в начале планируемого месяца) проводится корректировка расчетов по результатам работы за истекший период (учет невыполненных и досрочно выполненных заказов), а также по данным о наличии металла на складах готовой продукции и в незавершенном производстве. Фабрикация производства используется производственно-сбытовым отделом и цехами для расчетов графиков работы агрегатов на месяц, составления месячных планов и балансов производства, доведения заданий до цехов и агрегатов.

Контроль заказов на соответствие специализации металлургиче-

ских агрегатов комплекса цехов заключается в оперативном сопоставлении информации о продукции по каждой позиции поступившего на предприятие заказа со справочником специализации. Заказы или позиции заказов, для которых сравниваемые параметры не совпадают с соответствующими показателями, содержащимися в справочнике специализации, не включаются в машинный массив заказов и возвращаются в ПСО в сопровождении машинограммы, в которой по каждому заказу или позиции указываются причины расхождения.

Содержание задачи проверки заказов на соответствие протоколу загрузки, поступившему от центральных планирующих органов, сводится: к группировке заказов по признакам, характеризующим позиции протокола; определению объемов поставки по каждой из полученных групп и отклонений между этими объемами и объемами производства, установленными соответствующими позициями протокола загрузки. Если при обработке очередного заказа или его позиции зафиксировано превышение объема поставки по заказам над объемом позиции протокола загрузки, к которой они относятся, эта позиция протокола считается перегруженной, а последующие заказы, которые к ней относятся, не об-считываются и возвращаются в производственно-сбытовой отдел. Аналогично поступают при превышении планового фонда времени работы агрегата.

Заказы на поставку продукции потребителю выдаются на год, полугодие (с разбивкой по кварталам) и квартал. Основным периодом оперативного планирования производства на металлургическом предприятии является месяц, поэтому по каждой позиции заказа определяются объемы поставок по месяцам.

Содержание задачи состоит в распределении квартальных объемов принятых к исполнению заказов по месяцам и получении на каждый месяц квартала ведомости поставок продукции по заказам. При этом для первого и второго месяцев соблюдаются следующие требования (ограничения):

1. В каждом месяце обеспечивается полное использование фондов рабочего времени агрегатов и соответствие рассчитанных на ЭВМ объемов поставок объемам протокола загрузки. При выполнении этого требования для первого и второго месяцев оставшиеся заказы включаются в план поставок третьего месяца; при недогрузе производственных мощностей объем поставок дополняется заказами следующего квартала.

2. При распределении учитываются требования первоочередности поставок продукции по отдельным категориям заказов, отдельным потребителям и т.п.

3. В тех случаях, когда количество подлежащей поставке продукции в квартал составляет две минимальные нормы отгрузки (2 вагонные нормы), поставка производится в течение любых двух месяцев, а при поставке одной нормы — в любом месяце квартала.

4. Отдельные виды продукции, производство которой в соответствии с протоколом загрузки осуществляется не ежемесячно, поставляются в сроки, соответствующие графику прокатки этой продукции по протоколу загрузки.

5. Поставка продукции, для которой минимальная норма отгрузки установлена менее вагонной, производится раз в квартал. Заказы на такую продукцию включаются в месячные планы поставок в объемах, обеспечивающих монтажность их производства на переделах (начиная с конвертерного), при этом решается задача их комплектации по направлениям отгрузки.

Комплекс задач слежения за металлом, учета выполнения заказов и оперативной фабрикация металла решается на уровнях АСУ комплекса и АСУ цехами (табл. 5.2).

Данные оперативного (сменно-суточного) учета производства металлопродукции по маркам стали, профилерам, поступающие из цеховых АСУТП, используются при решении задач оперативного планирования производства. Учет ведется по цехам и агрегатам в соответствии с группировкой заказов по маркам стали и профилерам и предназначен для: анализа выполнения графика производства металлопродукции по маркам стали, профилерам за прошедшие сутки и с начала месяца; определения объемов производства металлопродукции, подлежащих выполнению до конца месяца; составления графика производства металлопродукции на следующие сутки (неделю до конца месяца).

Учет выполнения плана производства готовой продукции проводится по сдаче на склад и по отгрузке металлопродукции. При учете по сдаче металлопродукции на склад в выполнение плана производства включается готовая продукция, поступившая на склад и предназначенная для отгрузки потребителю, а также продукция, переданная в другие цехи для дальнейшего передела. При учете по отгрузке металлопродукции в выполнение плана производства включается отгруженная готовая продукция, на которую

Таблица 5.2 Состав задач слежения за металлом, учета выполнения заказов и оперативной фабрикация металла

Наименование задач	Периодичность решения	Потребители выходной информации
1. Учет производства металлопродукции по маркам стали, профилерам	Сутки	ПСО
2. Учет отгрузки металлопродукции	”	ПСО
3. Определение объемов производства металлопродукции, подлежащих выполнению до конца месяца	”	ПСО
4. Определение объемов поставок металлопродукции, подлежащих выполнению до конца месяца	”	ПСО; ПРБ
5. Учет полуфабрикатов и незавершенного производства	”	ПСО; ПРБ
6. Учет сдачи металла на склад готовой продукции	”	ПСО; ПРБ
7. Учет наличия металла на складах готовой продукции	”	ПСО; ПРБ
8. Оперативная фабрикация производства по переделам на оставшуюся часть месяца (с учетом готовой продукции на складах и незавершенного производства)	”	ПРБ
9. Расчет загрузки агрегатов на оставшуюся часть месяца	”	ПРБ; ПСО
10. Формирование сведений о поставках металлопродукции	Месяц	ПСО
11. Учет выполнения особо контролируемых заказов	Сутки	ПСО
12. Отчетность о поставках металлопродукции	Месяц, квартал, год	ПСО

получены железнодорожные квитанции об отгрузке ее потребителю, а также продукция, переданная в другие цехи для дальнейшего передела.

Учет отгрузки металлопродукции позволяет проводить: оперативный контроль за ходом выполнения плана поставок готовой продукции по заказам; внесение коррективов в оперативные планы производства металлопродукции; формирование расчетных документов при решении комплекса задач стоимостной оценки отгруженной продукции и учета ее реализации.

Содержание задачи определения объемов производства металлопродукции, подлежащих выполнению до конца месяца, состоит в определении оставшихся к исполнению до конца месяца объемов производства готовой продукции по маркам стали, профилям-размерам и техническим характеристикам металла.

Сведения об объемах поставок металлопродукции, подлежащих выполнению до конца месяца, выдаются в виде машинных документов или отображаются на дисплее при обращении к ЭВМ персонала ПСО или цехового. При необходимости может быть выдан перечень заказов, подлежащих выполнению до конца месяца, с указанием оставшихся объемов поставок.

АСУ листопркатным цехом обеспечивает учет объема и основных параметров металла, находящегося в незавершенном производстве, и полуфабрикатов. ЭВМ выполняет учет: поступления металла в цех; наличия полуфабрикатов; производства по агрегатам; незавершенного производства; наличия металла на складе готовой продукции; отгрузки или передачи металла на следующий передел.

Данные задачи определения фондов времени агрегатов, необходимых для производства готовой продукции и полуфабрикатов на оставшуюся часть месяца, используются для решения вопроса о возможности выполнения запланированных объемов производства. При наличии свободных мощностей агрегаты загружаются заказами следующего месяца или квартала, а при нехватке мощностей для выполнения нарядов текущего месяца используется металл, находящийся в незавершенном производстве и на складах.

Система оперативного планирования листопркатного производства рассматривается как комплекс взаимосвязанных задач — от обработки массива заказов, до получения планов-графиков прокатки и выдачи заданий конвертерному цеху.

Графики прокатки разрабатываются с учетом производительности стана по каждой группе профилей. В такие группы, называемые монтажными партиями, включается совокупность профилей-размеров, которые технически и экономически целесообразно прокатывать без переналадки стана. При составлении графика прокатки учитывается монтажная норма — такой объем проката определенной монтажной партии, который может быть произведен без перевалки валков стана, т.е. в пределах их стойкости.

Разработка графиков прокатки для листовых станов имеет свои

особенности. На листовых станах сначала прокатывают широкие полосы, затем, по мере износа прокатных валков, более узкие. При значительном сортаменте установление оптимальной очередности производства возможно лишь с использованием современных математических методов и вычислительной техники.

Месячный график прокатки является основой для планирования работы не только прокатного стана, но и конвертерного цеха. Кроме того, с учетом графиков прокатки осуществляется оперативное планирование работы вспомогательных цехов. После разработки месячных графиков прокатки на их основе формируются графики отгрузки готовой продукции.

По графикам прокатки устанавливают возможности цеха по отгрузке, при этом учитывают время, необходимое для отделки проката, упаковки, механических испытаний, оформления документов.

Развитием и детализацией месячных графиков прокатки и отгрузки являются недельные графики, в которых на каждые сутки предстоящей недели указываются профиль и масса, а также соответствующие данные по отгрузке готовой продукции. На основе полученных недельных заданий в цехах составляются суточные планы-графики загрузки агрегатов.

При составлении графиков для цехов, выпускающих готовую продукцию, учитываются возможности цехов предыдущих переделов. Согласованность смежных цехов требует установления в графиках определенного опережения во времени производства различных полуфабрикатов по отношению к производству продукции последующих цехов. Для устранения перебоев в работе прокатных цехов, вызванных неравномерным поступлением подката, создаются рациональные запасы металла на складах.

Учет выполнения заказов и производства металла позволяет вносить коррективы в недельные и суточные планы-графики производства и направлять деятельность цехов на своевременное выполнение заказов.

Одной из характерных особенностей металлургического производства является вероятностный характер протекания процессов. Это приводит к отклонению от запланированной организации потоков металла, невыполнению отдельных плановых заданий в части временных и технологических характеристик. Например, на ход производственных процессов в листопрокатном цехе значительное влияние оказывает конвертерное производство. Разно-

образии и изменчивости сортамента металла выдвигают сложную задачу оперативного управления работой конвертерного и листопрокатного цехов.

С помощью АСУ производится: упорядочение потока металла; выбор оптимальной последовательности прокатки на стане 2000; расчет раскроя продукции по заказам с минимальными отходами; определение рациональных запасов металла на промежуточных складах и др.

Повышение качества готовой продукции на комбинате рассматривается как один из основных источников роста эффективности производства. Как известно, стальной прокат характеризуют четыре основные группы показателей качества: точность исполнения геометрических размеров и формы, химический состав металла, макроструктура и физико-механические свойства.

При хорошем состоянии оборудования прокатных цехов обеспечение показателей первой группы не создает проблем; их регулировка успешно выполняется локальными автоматическими системами управления из состава АСУТП.

Колебания химического состава конвертерной стали, по крайней мере, в пределах, допустимых стандартами для данной марки, — неизбежны. Химический состав стали, степень ее загрязненности посторонними примесями являются определяющими для физико-механических свойств, и в немалой степени, для макроструктуры. Две последние группы показателей качества определяют в большинстве случаев потребительские свойства проката.

Таким образом, возникает потребность формулирования задачи автоматизированной системы управления качеством продукции — определение ряда воздействий на технологические процессы в прокатном переделе для компенсации влияния отклонений химического состава конвертерной стали на свойства готового проката.

На результаты производственной деятельности комплекса сильно влияет также уровень организации работы транспорта. Нарушение ритмичности подачи чугуна в конвертерный цех приводит к существенным потерям, вызываемым простоями конвертеров и МНЛЗ. Несвоевременная подача порожних вагонов под погрузку готовой продукции — источник серьезных нарушений технологического процесса прокатного производства. Перебои в подаче порожних вагонов приводят к накоплению металла на складах готовой продукции сверх нормативного количества.

Разнообразие грузопотоков и их тесная связь с технологией основного производства, жесткая регламентация перевозок во времени в соответствии с требованиями технологического процесса определяют задачи управления железнодорожным транспортом.

Техническая структура АСУТП представляет собой совокупность технических средств, обеспечивающих автоматизированное решение задач управления технологическими процессами и производством.

Технические средства АСУТП размещены: в главном вычислительном центре с его филиалами — ЕС ЭВМ, в вычислительных центрах доменной печи № 5, конвертерного цеха и стана 2000 — СМ ЭВМ и УВМ фирмы "Сименс" (рис. 5.1 и 5.2).

Главный вычислительный центр расположен в научно-исследовательском комплексе комбината, его филиалы в вычислительных центрах управления прокатным производством и железнодорожным транспортом.

В состав технических средств автоматизированных систем входят функциональные устройства, которые осуществляют обработку информации в соответствии с заданными программами; оперативное и долговременное хранение информации; ввод и передачу информации с терминальных устройств и автоматических датчиков; представление информации персоналу управления.

Основа ЕС ЭВМ — семейство программно-совместимых вычислительных машин третьего поколения, которое объединяет ряд моделей.

Обширная номенклатура периферийных устройств и стандартный способ их подключения позволяют создавать вычислительные системы различной конфигурации. Развитая система программного обеспечения в сочетании с разнообразными техническими средствами обеспечивает эффективное решение широкого круга научно-технических, экономических и управленческих задач.

Для ЕС ЭВМ характерен высокий уровень стандартизации и унификации, определяющий:

- программную совместимость ЭВМ, реализующих стандартный набор команд и форматов представления данных;
- единую широкую номенклатуру периферийных устройств, подключаемых через стандартный интерфейс ввода — вывода, для обеспечения различных применений;

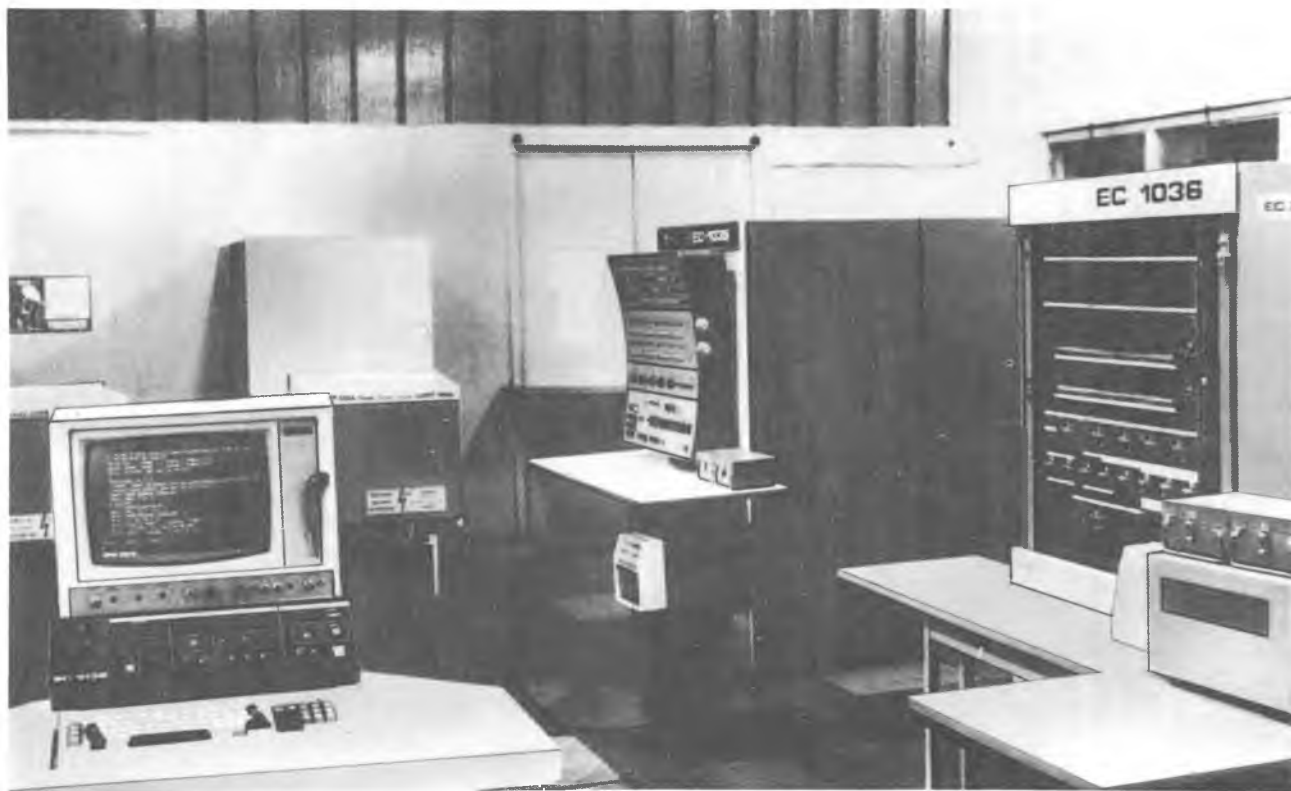


Рис. 5.1. Машинный зал главного вычислительного центра комбината



Рис. 5.2. Устройства подготовки данных

— единство принципов конструирования и производства, обеспечивающих высокую степень унификации и технологичности изделий ЕС ЭВМ.

Благодаря стандартному сопряжению центральный процессор работает с большим набором разнообразных периферийных устройств.

Системы малых и микроэлектронных вычислительных машин (СМ ЭВМ) представляют собой агрегируемые системы технических и программных средств вычислительной техники, связанных рациональной совместимостью архитектурных и конструктивных решений и предназначенных для построения управляющих вычислительных комплексов, которые используются в системах: управления технологическими процессами и агрегатами; автоматизации научных исследований, автоматизации проектирования, управления объектами.

Основными областями системного применения средств СМ и микроЭВМ являются информационно-поисковые системы; автоматизированные системы управления для непрерывных и непрерывно-дискретных технологических процессов и производств; автоматизированные системы управления технологическими процессами и системы оперативного управления в дискретных производствах; системы автоматизации научных экспериментов.

Кроме того, средства СМ и микроЭВМ применяются в больших вычислительных системах в составе терминальных комплексов как проблемно-ориентированных, так и общего назначения, а также в качестве устройств, встраиваемых в специализированную аппаратуру.

Системы малых и микроЭВМ построены как агрегатные системы технических средств, позволяющих компоновать управляющие вычислительные комплексы с различным составом оборудования и обеспечивать замену одного устройства комплекса другим аналогичного назначения без изменения общего функционирования системы.

Программное обеспечение построено также по модульному принципу, что обеспечивает возможность компоновки программных средств в соответствии с требуемыми режимами работы и выполняемыми функциями при заданной конфигурации технических средств.

В состав программного обеспечения входят операционные системы различного назначения, библиотеки, проблемно-ориентирован-



Рис. 5.3. Вычислительный центр научного подразделения комбината

ные и процедурно-ориентированные пакеты прикладных программ, сервисные и контрольно-диагностические программы.

Разработка АСУ на комбинате выполняется собственными силами и с привлечением научно-исследовательских и проектных институтов; при этом роль специалистов комбината возрастает с каждым годом.

Подразделения комбината — технологические лаборатории и лаборатории АСУ, объединенные в научно-исследовательский центр, способны выполнять работы по совершенствованию систем управления в короткие сроки и с минимальными затратами (рис. 5.3).

Совокупность накопленных методических разработок по решению технических и организационных вопросов создания АСУ, математических моделей процессов и методов их реализации, технических средств сбора, передачи и обработки информации является основой разработки и совершенствования АСУ.

Наличие производственной базы (цех автоматизации и механизации) в научно-техническом центре обеспечивает выполнение в короткие сроки монтажных и наладочных работ. Кроме того, специалисты центра участвуют в обсуждении реконструкции агрегатов и проектов вновь вводимых цехов и участков; осуществляют контроль за разработкой и внедрением автоматизированных систем, выполняемых научно-исследовательскими и проектными институтами.

Процесс совершенствования управления определяет содержание и характер развития его составляющих — науки и техники управления.

Потребности развития систем управления производственными процессами удовлетворяются не только путем количественного наращивания научного потенциала, а главным образом за счет повышения эффективности исследований, расширения сферы применения научных достижений, сокращения цикла "наука — производство — управление".

Наука управления тесным образом связана с основным производством. На решение проблем дальнейшего повышения эффективности производства и качества работы направлены исследования и прикладные разработки.

Полнота научных исследований, их глубина и комплексность обес-

печиваются применением прогрессивных методов изучения проблем науки управления — системного подхода, моделирования, экспериментирования, экономико-математических методов. Широкое применение ЭВМ при проведении исследований позволяет использовать имитационное моделирование, решать оптимизационные задачи, ускорять процесс исследований, повышать степень их влияния на конечный результат работы комбината.

Огромное значение имеет организация своевременного внедрения научных достижений в практику управления. Комплексный характер многих организационно-управленческих нововведений требует организации совместной работы разных специалистов (технологов, экономистов, математиков и др.) не только в процессе разработок, но и на этапе внедрения.

Результатом научно-организационной деятельности по внедрению нового в практику управления является создание механизма, обеспечивающего как организационное, так и экономическое единство интересов инновационного процесса. Основу такого механизма составляют четкая формулировка целей развития систем управления, планомерный характер работ по внедрению научных достижений в практику управления, отлаженная система информации об отраслевом и зарубежном опыте, своевременная и качественная подготовка кадров, систематический контроль за ходом внедрения.

Важным фактором интенсификации науки управления на комбинате является постоянное совершенствование структуры научно-технического центра, а также формирование научных коллективов, способных решать самые сложные проблемы управления.

Технический прогресс в управлении достигается при комплексном развитии его технической базы, представляющей собой единую цепочку средств получения, хранения, поиска информации, копирования и размножения документов, передачи и дистанционного отображения данных, вычислительной и логической обработки информации, специализированного оборудования для оснащения управленческого труда.

Основные признаки этой комплексности — взаимоувязанность элементов технической системы и согласованность в наращивании их производственных мощностей в соответствии с потребностями управления. При этом большое значение приобретает развитие механизации и автоматизации управленческих процессов как по линии внедрения ЭВМ, так и в части применения средств

оргтехники и систем комплексной механизации управленческого труда.

В связи с этим большое значение имеет широкое распространение микроЭВМ, с помощью которых существенно облегчается общение работников аппарата управления с машиной и расширяется сфера автоматизации их труда. Персональные ЭВМ, установленные рядом с рабочим местом, позволяют без посредников вводить в машину программы и исходные данные, выводить исковые результаты, рассчитывать варианты заданий, планов, программ и т.п. Эффективное использование машин обеспечивается при условии полного набора периферийных устройств, совершенных программных средств и соответствующей подготовки работников аппарата управления. Они овладевают методами решения задач и программирования, методами правильного обращения с ЭВМ.

Таким образом, использование сравнительно недорогой техники прогрессивно изменило содержание, условия и формы организации труда, а также профессионально квалификационную структуру кадров управления. Непосредственным результатом применения микроЭВМ в управлении явилось сокращение численности ряда категорий работников вычислительных центров (разработчиков, программистов), а также повышение производительности труда на автоматизированных рабочих местах сотрудников управленческого аппарата.

Пропорциональное, взаимоувязанное развитие частей технической системы базируется на всестороннем изучении потребностей системы управления в средствах механизации и автоматизации; на своевременном приобретении и установке необходимых видов оборудования в рассчитанных количествах и запланированном ассортименте.

Взаимосвязь науки и техники управления проявляются и в ряде других аспектов. Широкое внедрение электронной вычислительной техники и другого оборудования активизировало научные разработки по созданию автоматизированных систем управления. На начальных этапах автоматизации управления на комбинате первоочередными были чисто технические вопросы, касавшиеся выбора, создания и использования ЭВМ для регулярного решения основных управленческих задач. В это время большой вклад в науку внесли привлекаемые ученые и специалисты в области вычислительной техники и математических методов, создавшие основы машинной технологии обработки информации, разработав-

шие постановку и алгоритмы решения задач, весьма важных для совершенствования процесса управления.

Создание автоматизированных систем управления потребовало участия специалистов комбината в проведении комплексных научных исследований, включающих технический, технологический, организационный, экономический и социальный аспекты.

Начальный этап исследований состоял во всестороннем диагностическом анализе состояния систем управления производством, в выявлении его резервов и сфер, где следовало определить очередность автоматизации.

Основу начального этапа составляли знания законов, закономерностей, принципов функционирования и развития систем управления, достижений в области организации управления, его процессов, методов, эффективности. При разработке проектов автоматизации используются научные разработки в области технологии обработки управленческой информацией, устанавливаются те изменения в составе и квалификации кадров, которые позволят использовать возможности, заложенные в новой технике.

Для материализации проектных решений в действенное средство совершенствования управления они должны поддерживаться экономическим, организационным, социально-психологическим обеспечением, что означает четкое закрепление всех процедур процессов за конкретными исполнителями и позволяет регулировать и контролировать ход работ.

5.2 СТРУКТУРА И ФУНКЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

Система управления производством металлургического комплекса, являющаяся частью интегрированной системы управления комбинатом, образует структуру, включающую в себя три уровня управления: АСУ металлургическим комплексом; цеховые АСУ; АСУТП металлургических агрегатов (рис. 5.4).

В АСУ металлургическим комплексом осуществляются обработка заказов, месячное (недельное) планирование и координация работы доменной печи № 5, конвертерного и листопрокатного цехов, управление сбытом готовой продукции.

Исходной информацией для управления металлургическим комплексом является квартальный объем заказов. Распределение за
242

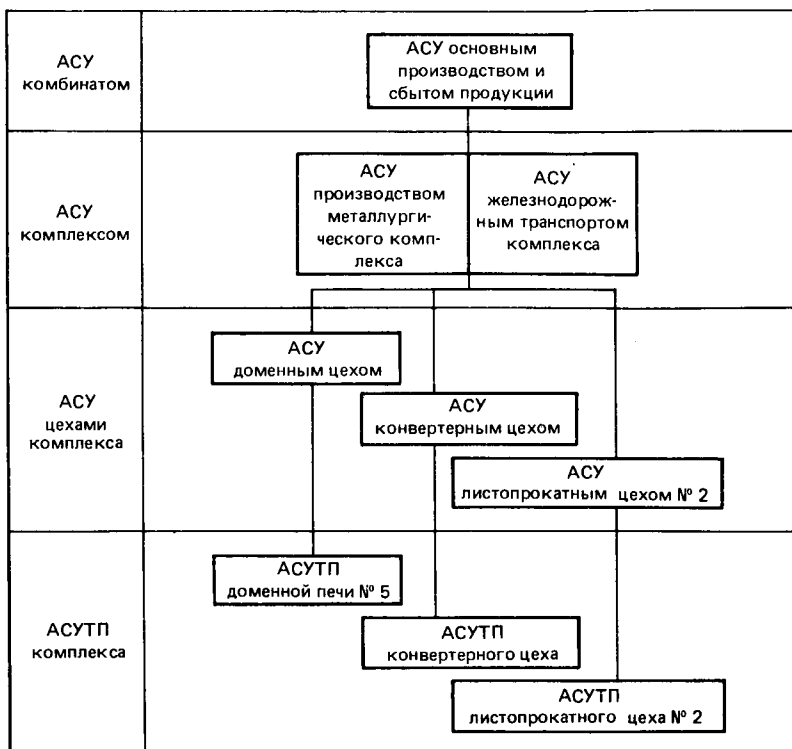


Рис. 5.4. Структура АСУ металлургическим комплексом

казов по месяцам производится в АСУ комплексом. Критерием распределения служит ритмичность производства, отгрузки и реализации продукции по месяцам.

В цеховых АСУ составляются суточные графики производства и отгрузки готовой продукции, обеспечивается текущая координация работы взаимосвязанных участков и агрегатов, формируются отчетные документы о выполнении плановых заданий.

Функционирование АСУ производством базируется на использовании информации, поступающей из АСУТП металлургических агрегатов.

Автоматизированная система управления доменной печью № 5 яв-

ляется частью АСУ металлургическим комплексом и построена с возможностью взаимных корректирующих воздействий с АСУ конвертерным цехом.

Укрупненная схема функционирования АСУ доменной печи № 5 представляется в такой последовательности: получение месячных (недельных) заданий из АСУ металлургическим комплексом; оперативное планирование выплавки чугуна; контроль, учет и анализ производственного процесса; координация (регулирование) производства.

Месячное задание доменной печи предусматривает выплавку определенного чугуна для обеспечения работы конвертерного цеха в соответствии с его производственной программой и плановым расходным коэффициентом чугуна на выплавку стали, а также план выпуска гранулированного шлака и доменного газа.

Основой оперативного управления доменной печью является суточное задание выплавки чугуна.

Функционирование АСУ производством доменной печи базируется на использовании технических средств обработки информации, периферийной техники и других устройств по подготовке и отображении информации. Между вычислительными комплексами, входящими в состав АСУТП и АСУ производством, созданы межмашинные связи для передачи параметров технологического процесса, информации о ходе и результатах производства. Данные о химическом составе чугуна по каналам связи передаются в систему управления конвертерных цехом.

Особое значение в АСУ производством доменной печи имеет повышение достоверности учетной информации, для чего осуществляется индивидуальный учет входящих и выходящих материальных потоков, включающий в себя автоматический контроль качества чугуна, сырья и кокса.

АСУ конвертерным цехом представляет собой интегрированную систему, в которой комплексно решаются задачи управления производством и технологическими процессами выплавки, внепечной обработки и непрерывной разливки стали.

Основой месячного планирования производства конвертерного цеха является месячный объем заказов листопрокатного и холодной прокатки цехов. В АСУ комплексом формируется задание на выплавку, разливку и передачу слабов на стан 2000, в котором указываются марки стали, сечения кристаллизаторов МНЛЗ и объемы производства.

Система планирования работы конвертерного цеха подчинена решению задачи равномерного обеспечения листопрокатного цеха металлом в течение месяца.

В суточных графиках производства конвертерного цеха в режиме оперативного управления устанавливается задание по маркам стали, сечению кристаллизатора для каждой МНЛЗ и объему производства.

Решение задач суточного планирования для конвертерного и листопрокатного цехов приобретает первостепенное значение, так как от правильного задания для каждой МНЛЗ разливаемых на ней марок стали, с точки зрения перечисленных требований, зависит ритмичная и согласованная работа всего комплекса.

Планирование работы конвертеров и машин непрерывного литья заготовок производится в АСУ конвертерным цехом. План работы агрегатов формируется на основе суточного задания и включает в себя: составление контактного графика совместной работы конвертеров и МНЛЗ; корректировку (переназначение плавки) контактного графика МНЛЗ при условии необеспечения конвертерами непрерывности серийной разливки; расчет рекомендаций по управлению температурным режимом металла от выплавки до разливки.

Результатом планирования работы МНЛЗ является расписание разливок всех плавов, точнее массив времен начала разливок в хронологическом порядке. Расписание разливок является основой планирования работы конвертеров.

В качестве критерия оптимизации в математической модели работы агрегатов разливки металла используется величина, характеризующая суммарное время перестройки МНЛЗ.

Планирование работы конвертеров осуществляется следующим образом. Для каждой разливки назначается плавка, т.е. определяется время начала и конца плавки, длительность обработки металла в ковше и транспортировки в отделение МНЛЗ. Затем эти плавки распределяются по конвертерам так, что начало новой плавки происходит на том агрегате, где закончилась предыдущая.

Корректировка контактного графика проводится в оперативном режиме, для чего система управления осуществляет постоянное слежение за выполнением контактного графика. Если расхождение реального процесса с контактным графиком находится в допустимых пределах, выдаются рекомендации с целью устранения

отклонения. В случае, когда расхождения превышают допустимые пределы, производится оперативный перерасчет контактного графика.

Управление температурным режимом жидкого металла позволяет стабилизировать температуру стали в процессе разливки в заданных пределах и в то же время снизить среднюю температуру стали перед выпуском из конвертера. При этом учитываются влияние переменных факторов на падение температуры от выпуска жидкой стали до конца разливки, включающих: длительность выпуска, время выдержки и обработки стали в ковше, длительность разливки, химический состав и др.

В задаче расчета температурного режима потери тепла металлом на различных участках технологического маршрута описываются математическими моделями.

Потери тепла во время слива металла в ковш и его обработки аргоном формализуются статистическими моделями, полученными методами регрессионного анализа. Процессы изменения температуры металла до и во время разливки описываются параметрическими моделями на основе решения дифференциальных уравнений в частных производных, коэффициенты которых постоянно адаптируются.

В результате выполнения контактного графика работы конвертеров и МНЛЗ повышается коэффициент использования МНЛЗ, уменьшаются отходы металла, достигается более высокая производительность агрегатов.

Контроль и управление температурным режимом металла обеспечивают высокие показатели качества за счет уменьшения перегрева металла в конвертере и минимального отклонения температуры от заданного значения в процессе разливки.

Структура АСУ конвертерным цехом представляет собой многомашинную вычислительную сеть (рис. 5.5). Информация в систему управления поступает из технологических систем (АСУТП плавки, АСУТП разливки и АСУ энергопотреблением) по межмашинным связям, от терминалов, установленных в различных пунктах конвертерного цеха (экспресслаборатория, склад слябов и др.). Информационное обеспечение АСУ, принципы его компоновки и построения внутренних структур допускают дальнейшее наращивание и развитие.

Основным техническим средством АСУ конвертерным цехом яв-

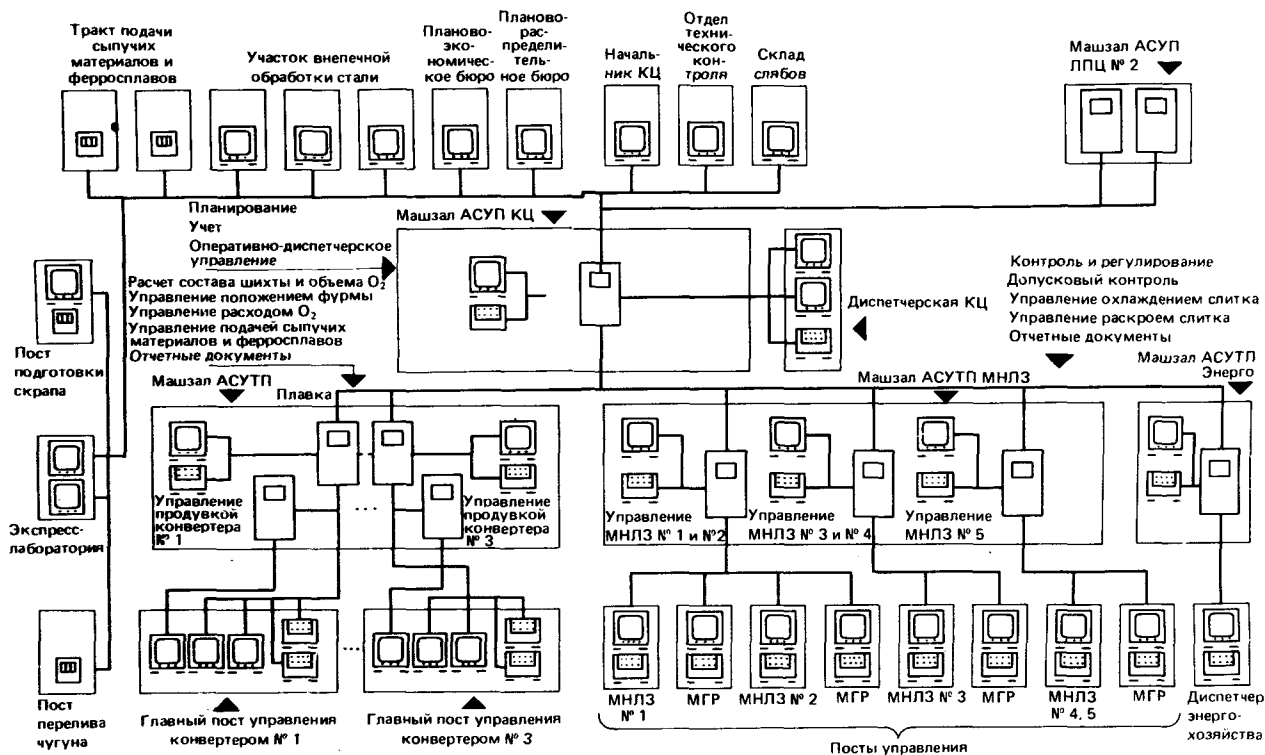


Рис. 5.5. Структура интегрированной системы управления конвертерным цехом (КЦ)

ляется ЭВМ СМ-2М, установленная в вычислительном центре. Пользователи системы (администрация, управленческий и технологический персонал) имеют возможность прямого доступа к данным интегрированной базы через многотерминальную диалоговую сеть периферийных удаленных устройств.

АСУ листопрокатным цехом обеспечивает: сбор и обработку информации о ходе производства; формирование оперативных данных, необходимых управленческому персоналу цеха для принятия решений по планированию и регулированию производственных процессов; составление отчетных документов о выполнении плановых заданий.

Подсистема планирования производством стана 2000 формирует суточный график прокатки, задания на порезку и отгрузку готовой продукции. Критерием планирования графика прокатки является минимизация простоев стана и максимизация средней скорости прокатки заданного марочного и профильного сортамента полос. Основными ограничениями служат: месячный объем заказов, суточное задание на прокатку, наличие соответствующих сортаменту проката слябов, технологические возможности стана в отношении последовательности прокатки полос заданных толщин и ширин, состояние валков.

План резки формируется в виде сменного задания на порезку полосового металла в соответствии с заказом потребителей. Критерием планирования является минимизация простоев агрегатов резки. Месячный объем заказов, суточное задание на порезку, характеристики агрегатов резки, характеристики полосового металла, стандарты на готовую продукцию ограничивают задание на смену. При планировании порезки рулонов используются прогнозы механических свойств металла, получаемые с помощью математических моделей.

План отгрузки включает в себя отгрузку товарных рулонов и готовой продукции.

В состав автоматизированной системы управления листопрокатным цехом входит подсистема оперативного управления работой складов цеха.

Оперативное управление работой складов слябов заключается в рациональном размещении поступающего металла и формирование партий слябов для загрузки в печи. Критерием управления служит минимизация простоев стана. В состав ограничений входят

наличие слябов на складе, технологические возможности стана и сменные задания на прокатку.

Оперативное управление работой складов рулонов предусматривает выбор места для горячекатаного металла, формирование последовательности передачи рулонов на порезку в соответствии с техническими возможностями агрегатов резки, а также составление очередности отгрузки рулонов потребителю.

Оперативное управление работой склада готовой продукции заключается в размещении пачек листов и полосового металла по территории склада и комплектации их в соответствии с заказами на прокат. Наличие готовой продукции на складе и вагонов на путях, сменные задания на отгрузку проката — основные ограничения. Критерием управления служит минимизация простоев подвижного состава.

Оперативное управление цехом обеспечивает выполнение сменных заданий с минимизацией отклонений от графика производства и отгрузки продукции.

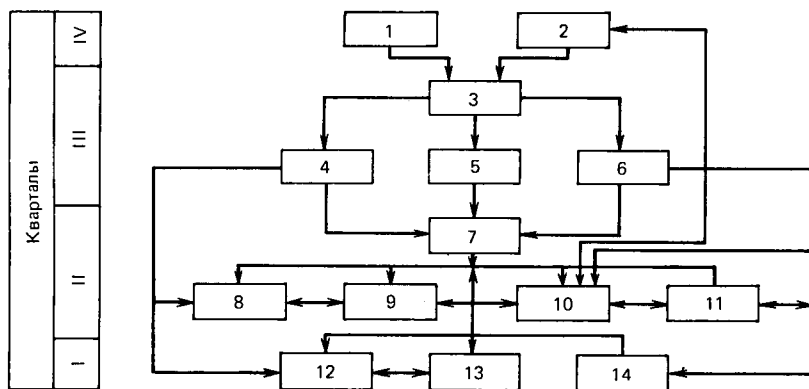


Рис. 5.6. Структура и функции ИАСУ листопрокатным цехом:

1 — распределение квартального плана производства по месяцам; 2 — реализация готовой продукции; 3 — планирование прокатки, резки и отгрузки металла по суткам (неделям); 4 — суточное планирование прокатки слябов на полосы; 5 — суточное планирование резки полос на листы; 6 — суточное планирование отгрузки готовой продукции; 7 — оперативное диспетчерское управление производством; 8 — оперативное управление работой склада слябов; 9 — оперативное управление работой склада горячекатаных рулонов; 10 — оперативное управление работой склада готовой продукции; 11 — оперативное управление качеством готовой продукции; 12 — АСУТП нагрева слябов; 13 — АСУТП прокатки слябов на полосы; 14 — АСУТП резки полос

Структура функций АСУ отражает принцип соподчиненности управления. Каждому уровню свойственны свои специфические функции, которые различаются по характеру и по принадлежности к различным временным интервалам (рис. 5.6 и 5.7).

Источником информации о ходе производства на складах служат подсистемы оперативного управления складами, о работе нагревательных печей, стана и агрегатов резки — АСУТП.

Автоматизированная подсистема оперативного управления складом слябов охватывает функции накопления, формирования и выдачи информации соответственно о поступлении сляба на склад, наличии и отгрузке. Автоматизированные подсистемы оперативного управления складом горячекатаных рулонов и складом готовой продукции выполняют аналогичные функции соответственно. В этих же подсистемах принимаются решения по оперативному управлению работой складов слябов, рулонов и готовой продукции.

Перечисленный комплекс функций выполняется подсистемами на основе использования ЭВМ; информация о поступлении или отгрузке (передаче) металла вводится персоналом складов с помощью видеотерминалов в соответствии с процессом производства. Эти же данные используются в ЭВМ для формирования отчетной информации, которая по запросам управленческого и технологического персонала может быть представлена на видеотерминалах.

В автоматизированной подсистеме управления качеством продукции непосредственно в технологической линии стана производится статистический контроль механических свойств проката (предел текучести σ_T , временное сопротивление σ_B , относительное удлинение δ_5 , ударная вязкость при температуре 20°C и после старения).

Методика статистического контроля механических свойств основана на использовании регрессионных моделей, описывающих связь механических характеристик с химическим составом и технологическими параметрами (толщина полосы, температура конца прокатки, температура смотки).

Если расчетные значения механических характеристик, полученные с помощью УВМ С-306 АСУТП стана, — не ниже заданных, металл передается на участок отгрузки; в противном случае от партии металла отбираются пробы и направляются в лабораторию механических испытаний.



Рис. 5.7. Машинный зал листопрокатного цеха

Для адаптации математических моделей определенные партии металла подвергаются механическим испытаниям.

Благодаря реализации статистического контроля механических свойств проката трудоемкость контроля снижена на 85 % по сравнению с механическими испытаниями.

Установленные зависимости механических характеристик металла от химического состава и технологических параметров прокатки являются основой регулирования механических свойств проката на базе регрессионных моделей. Например, при прокатке стали, дифференцированной по группам прочности, данные химического состава вводятся в ЭВМ С-306, с помощью которой рассчитываются рекомендуемые значения температур конца прокатки и смотки полос и выдаются на пост управления станом. Реализованный алгоритм управления процессом прокатки обеспечил повышение выхода металла с гарантированным уровнем качества (в частности для СтЗсп – 13 %).

Анализ качества и технологии с помощью ЭВМ способствует выявлению причины дефектов проката и возможности их оперативного устранения.

Функционирование автоматизированной системы управления производством цеха базируется на использовании советских (в АСУ) и фирмы "Сименс" (в АСУТП) технических средств обработки информации, периферийной техники и средств по подготовке и отображению информации.

Комплекс технических средств обеспечивает возможность выполнения следующих функций системы: обмен информацией между ЭВМ различного типа и класса; создание и ведение банка данных; дистанционную связь с пользователями через видеотерминалы; обмен информацией между ЭВМ и пользователями в режиме диалога; контроль операций в реальном масштабе времени; работы в мультипрограммном режиме; работу с программными средствами обеспечения на основе общей системы.

Между вычислительными комплексами, входящими в состав АСУТП и АСУ, созданы межмашинные связи для передачи параметров технологического процесса, графиков работы агрегатов, информации о ходе и результатах производства. Данные о перемещении металла, его состоянии, операциях по его переработке, не вошедшие в состав информации, накапливаемой в АСУТП, поступают в подсистемы управления производством с помощью устройств ручного ввода.

Информация о поступлении, отгрузке и корректировке наличия металла вводится в подсистему управления складом слябов посредством видеотерминала.

Дисплеи применяются для передачи информации о поступлении рулонов на склад, изменении назначения, перемещении, подготовке к отгрузке и отгрузке рулонов.

В подсистеме управления складом готовой продукции используются терминалы, с помощью которых информация о поступлении рулонов в отделку, результатах порезки и отгрузки листового металла передается в ЭВМ.

5.3 АСУ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

Управление транспортом металлургического комбината имеет ряд характерных особенностей.

1. Разнообразие грузопотоков и их жесткая связь с технологическими процессами основного производства, которому присущи значительные количества невзаимозаменяемых потоков (различный род груза, направление перевозок, условия и сроки доставки, тип подвижного состава и др.). По сравнению с другими промышленными предприятиями металлургический комбинат отличается непосредственным влиянием транспорта на технологию, особенно на участок "горячих" перевозок, где связь между транспортными и технологическими агрегатами осуществляется без складирования продукции.

2. Большой объем перевозок и значительное число управляемых объектов. На Череповецком металлургическом комбинате объем перевозок достигает 100 млн.т/год. Железнодорожная сеть комбината включает в себя 400 км путей, 21 железнодорожную станцию, ежедневно разгружается в среднем 1500 вагонов, отгрузка составляет 900. На комбинате находятся 1200 вагонов местного парка, 600 единиц специального подвижного состава (чугуновозных и шлаковозных ковшей, слитковозных тележек и др.), 150 локомотивов, а погрузочно-разгрузочные работы с вагонами осуществляются на десятках грузовых фронтов.

3. Жесткая регламентация перевозок во времени в соответствии с требованиями технологического процесса. В одних случаях эти требования определены заранее и зафиксированы в плановых документах (графики выпуска чугуна, плавки и разливки стали,

контактный график перевозок в вагонах парка комбината), в других — возникают оперативно (потребность пунктов погрузки готовой продукции в вагонах МПС и др.).

4. Декомпозиция объекта управления. В технологическом цикле металлургического производства выделяется ряд участков (производств), транспортные подсистемы которых слабо взаимодействуют друг с другом. Например, автономные транспортные участки формируются для перевозок сырья доменному производству, чугуна — в конвертерный цех, проката — на железнодорожную станцию примыкания с магистральным транспортом. В связи с этим появляется возможность выделить в системе управления транспортом металлургического комбината ряд независимых или взаимодействующих подсистем.

5. Сложное построение подсистем управления транспортом. Большой объем перевозок, технологическая взаимозависимость с основным производством и декомпозиция управления транспортом порождают иерархическую структуру, в которой отдельные управляющие органы разделены функционально, территориально, по уровню, рангу и другим признакам.

АСУ транспортом существенным образом отличается от других подсистем АСУ комбинатом. Она взаимодействует со всеми локальными технологическими подсистемами, обеспечивая подачу сырья и уборку продукции каждого металлургического передела.

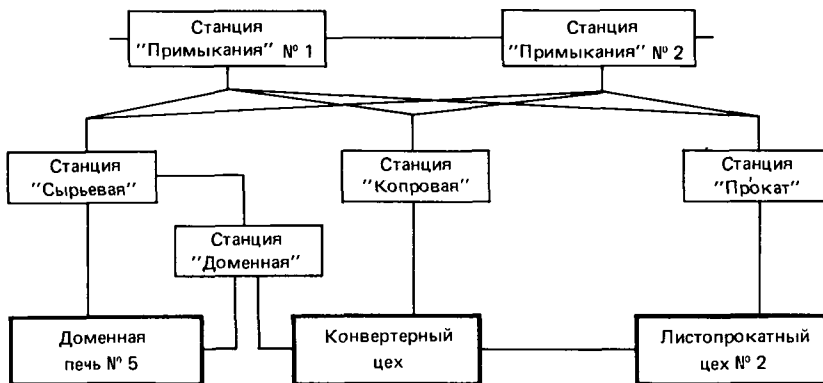


Рис. 5.8. Структурная схема сети железнодорожных перевозок металлургического комплекса

Поэтому транспортная подсистема должна удовлетворять требованиям всех обслуживаемых производств, т.е. по существу всех технологических подсистем комбината. На рис. 5.8 представлена структурная схема сети железнодорожных перевозок металлургического комплекса "чугун — сталь — прокат".

Металлургический комплекс обслуживают шесть железнодорожных станций, которые выполняют техническую, грузовую и коммерческую работу. К технической работе станции относятся прием поездов, формирование и расформирование составов, подача вагонов на грузовые пункты и их уборка. Грузовая и коммерческая работа состоит в приеме и сдаче поездов и грузов в коммерческом отношении, погрузке, выгрузке вагонов и проверке правильности их погрузки, взвешивании грузов, учете простоя вагонов, оформлении перевозочной документации и др.

Технологический процесс работы станции представляет собой рациональную систему обработки поездов и вагонов, обеспечивающую выполнение планов погрузки и перевозок в вагонах магистрального транспорта и парка комбината, плана формирования и графика движения поездов с минимальной затратой транспортных средств.

Станция "Доменная" обслуживает перевозки жидкого чугуна в конвертерный цех.

Станция "Прокат" включает в себя пути, обслуживающие листопрокатный цех № 2. Она принимает идущие под погрузку порожние составы и отправляет их с готовой продукцией на внешнюю сеть, подает также вагоны под погрузку проката, скрапа, окалины, мусора и убирает груженные вагоны. Для выполнения указанной работы станция располагает парком приема и отправления составов, выставочным парком для готовой продукции и порожняка, скрапа, окалины и мусора; вытяжными путями (для сортировки вагонов, их подачи по группам на фронты погрузки и т.д.).

Станция "Сырьевая" предназначена для подачи на вагоноопрокидыватели составов с сыпучими грузами, приема и отправления поездов с продукцией коксохимического производства, подготовки порожняка к отправлению на внешнюю сеть или к погрузке готовой продукции. Станция имеет пути для приема поездов с внешней сети и их отправления, надвига груженных вагонов на вагоноопрокидыватели и накопления порожних после выгрузки, выставки порожних и груженных вагонов и их сортировки, отстоя технически неисправных вагонов и др.

Станция "Копровая" обеспечивает конвертерный цех металлоломом.

Прием и сдача вагонов магистрального транспорта выполняются на станциях примыкания, связанных с внешней железнодорожной сетью. Они предназначены для обработки прибывающих составов и отправления готовой продукции.

При перевозках внутри комбината используется контактный график. Контактным графиком называется система организации междоцеховых перевозок, предусматривающая взаимную увязку технологических процессов работы транспорта и производственных цехов и регламентирующая график движения поездов, графики работы грузовых фронтов и обработку вагонов на железнодорожных станциях. Контактный график составляется на основе плана формирования поездов, режимов работы обслуживаемых цехов и результатов расчета элементов оборота вагонов по каждому вагонопотоку.

Организация железнодорожных перевозок по контактному графику исключает необходимость ежедневного планирования перевозок постоянных грузопотоков, обеспечивает стабильный ритм обслуживания производственных цехов и работы транспорта.

План "горячих" перевозок определяется исходя из производственной программы, в которой указан объем выплавки чугуна и стали.

На основе планов отгрузки по дорогам назначения и планов поставки металлопроката разрабатываются планы вывоза по родам груза и погрузки по суткам и сменам.

План ввоза составляется на основе расчетов отделов комбината (планового, сырья и топлива, снабжения) и заявок цехов в плановый отдел управления железнодорожным транспортом (УЖДТ).

Оперативное планирование работы станции обеспечивает выполнение контактного графика, планов погрузки, выгрузки, приема и сдачи вагонов, заявок цехов на перевозку грузов, норм простоя вагонов на станции. Исходные данные для оперативного планирования — график движения и план формирования поездов, установленные технологическим процессом, нормы длительности операций, суточные и сменные задания, сведения о положении на станции к началу планируемого периода и о подходе поездов.

В АСУ транспортом металлургического комбината функции управления возлагаются на несколько автономных подсистем. Для

металлургического комплекса можно выделить следующие функциональные подсистемы и соответствующие группы задач управления: общими перевозками, работой транспорта в маневровых районах, участком чугуна — сталь и др.

В управлении общими перевозками выделяются четыре уровня. На первом уровне — грузовые фронты, локомотивы — оперативное управление погрузкой (выгрузкой) осуществляется работниками технологических цехов. В АСУ вводится информация о постановке вагонов на грузовые фронты, начале и окончании грузовых операций, уборке вагонов, роде груза и его получателе.

На втором уровне дежурными по станциям, диспетчерами маневровых районов осуществляется непосредственное оперативное управление работой транспорта (прием, отправление, формирование и расформирование поездов, подача вагонов к фронтам погрузки — выгрузки и уборка их после окончания грузовых операций).

На третьем уровне (грузовой, вагонный и поездной диспетчеры) в АСУ решается широкий круг задач, которые в соответствии со структурой системы делятся на три группы.

Первая группа задач — задачи учета и планирования работы с вагонами парка комбината включают в себя: сбор информации о положении вагонов парка, ходе их погрузки, выгрузки, постановке и уборке, ситуации на станциях металлургического комплекса, движении поездов по контактному графику; прием заявок от цехов комплекса на постановку вагонов; извещение потребителей о погрузке и прибытии грузов в их адрес; извещение дежурных по станциям о подходе грузов, передача поездному диспетчеру и дежурным по станциям информации о требуемых перемещениях вагонов.

Вторая группа задач — решение вопросов учета и планирования работы с вагонами магистрального транспорта. АСУ осуществляет: прием информации о подходе поездов с внешней сети, сбор информации о начале и окончании погрузки, выгрузки, постановке на грузовые фронты и уборке с фронтов вагонов, о ситуации на станциях комплекса; прием заявок от цехов на постановку груженых и порожних вагонов; извещение потребителей о прибытии в их адрес вагонов магистрального транспорта; передачу поездному диспетчеру информации о требуемых перемещениях вагонов. Полученная информация является исходной для решения задач распределения груженых вагонов по фронтам выгрузки и порожних по фронтам погрузки.

Третья группа — планирование поездной работы: прием информации о необходимых перестановках вагонов магистрального транспорта и парка комбината, погрузке, выгрузке и накоплении вагонов на каждой станции, движении поездов и локомотивов и др. На основании полученной информации решаются следующие оперативные задачи: планирование формирования поездов для металлургического комплекса и работы поездных локомотивов. Одна из главных задач управления поездным движением состоит в выборе таких маршрутов следования, которые обеспечили бы минимум затрат времени резервного пробега и ожидания составов.

На уровне сменного диспетчера системы управления железнодорожным транспортом (четвертый уровень) решаются задачи, связанные с оперативным согласованием работы транспорта с требованиями цехов металлургического комплекса.

Управление работой транспорта в маневровых районах предусматривает решение задач планирования маневровой работы приема и отправления поездов, постановки вагонов на грузовые фронты и уборки с фронтов, формирования и расформирования поездов, сбора (передачи) всей первичной информации и др.

Управление участком "чугун — сталь" включает в себя решение задач согласования с АСУ доменным и АСУ конвертерным производством графика перевозок, управления движением поездов, оперативный контроль и учет работы транспорта и составление отчетных документов.

Рассматриваемые подсистемы металлургического комплекса являются частью общей системы управления железнодорожным транспортом на комбинате и связаны с ней функционально и технически.

АСУ железнодорожным транспортом взаимодействует со следующими двумя подсистемами:

1. Центральная подсистема УЖДТ.

Информация, циркулирующая между транспортной и центральной подсистемами, связана в основном с передачей срочных заданий на подачу вагонов в отдельные цехи металлургического комплекса, ускорение погрузки или выгрузки вагонов, передачей информации о подходе грузов с внешней сети или отгрузке готовой продукции.

В центральную подсистему поступает информация о приеме, сдаче, погрузке, выгрузке вагонов, сведения о фактическом сверх-

нормативном простое вагонов магистрального транспорта на комбинате и ряд других учетных сведений.

К функциям центральной подсистемы относятся решение неоперативных транспортных задач (например, составление контактного графика перевозок), годовое, квартальное, месячное планирование работы транспорта, накопление и обработка учетных данных за период более суток и др.

Наряду с перечисленными транспортными подсистемами, непосредственно входящими в состав АСУ предприятия, с транспортом комбината тесно взаимодействует система управления внешними перевозками, в функции которой входит сбор данных о продвижении адресованных комбинату грузов по сети железных дорог магистрального транспорта, об обеспечении предприятия порожними вагонами, оперативное перераспределение этих ресурсов, решение совместно с АСУ железных дорог ряда оперативных задач.

2. Подсистемы верхнего уровня управления комбинатом (сбыт, материально-техническое снабжение, финансы, бухгалтерский учет), из которых в АСУ железнодорожным транспортом поступает плановая информация, определяющая объем всех видов ресурсов, используемых в работе транспорта. Из АСУ транспортом в названные подсистемы передается учетная информация.

Основу АСУ железнодорожным транспортом металлургического комбината составляет автоматизированная система учета вагонов перевозочного процесса.

Перевозочный процесс описывается семейством моделей, каждая из которых отражает поведение системы с точки зрения различ-

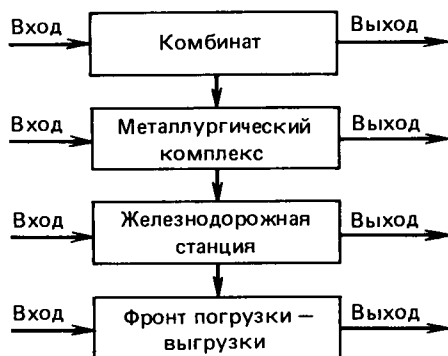


Рис. 5.9. Стратифицированное представление перевозочного процесса на металлургическом комбинате

ных уровней стратификации. На рис. 5.9 приведено стратифицированное представление перевозочного процесса.

При формализации перевозочных процессов на любом уровне математическая модель представляется в виде динамической системы, характеристики которой соотносят с множеством $z(t)$ состояний как отображение $T \rightarrow z$, где T — множество моментов времени, функционирования транспортной системы, z — множество ее состояний:

$$z(t) = \varphi[t, \tau, z(\tau), x(t) |_{\tau}^t];$$

$$y(t) = \psi[t, z(t)].$$

Здесь $x(t) |_{\tau}^t$ — входные воздействия (потоки железнодорожных составов, вагонов) в полуинтервале (τ, t) ; $y(t)$ — выходные величины, зависящие от состояния системы в момент времени t .

При последовательном переходе от одной страты к другой математические модели общей схемы формализации детальнее описывают перевозочный процесс. При обращении к нижним стратам более подробно учитываются наличие и работа вагонов на станциях и фронтах погрузки — выгрузки. С другой стороны, при движении вверх по иерархии описание становится более широким, охватывая учет вагонов по комбинату в целом.

Рассмотрим, например, математическую модель железнодорожной станции.

Железнодорожная станция — сложная система, включающая производственные операции приема, отправления, формирования и расформирования составов, подачи и уборки вагонов, погрузки и выгрузки. В соответствии с этим состояние станции $z(t)$ представляет собой многомерный вектор, компонентами которого являются число вагонов, характеризуемых сопроводительной информацией (номер и тип вагона, масса и род груза, сведения о грузополучателе и отправителе и т.п.), прибывших и отправляемых со станции, а также находящихся в процессе погрузки и выгрузки. Количественные составляющие вектора изменяются во времени.

Таким образом, на железнодорожных станциях концентрируется информация, обеспечивающая функционирование системы управления транспортом комбината.

Железнодорожная станция представляется в виде конечного асинхронного автомата Мура:

$$z(t) = \varphi [z(t-1), x(t)];$$

$$y(t) = \psi [z(t)].$$

В качестве состояния определен вектор

$$z(t) = (z_1(t), z_2(t), \dots, z_n(t)),$$

где $z_i(t) = (z_{i1}(t), z_{i2}(t), \dots, z_{im}(t))$ — вектор, в котором первая компонента $z_{i1}(t)$ характеризует количество вагонов на станции, с которыми выполняется i -тая операция, остальные компоненты представляют собой сопроводительную информацию о каждом из этих вагонов.

Входной сигнал обозначается как

$$x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t), \mu),$$

где $x_i(t) = (x_{i1}(t), x_{i2}(t), \dots, x_{im}(t))$ — вектор, в котором первая составляющая $x_{i1}(t)$ характеризует число вагонов, поступивших на станцию для выполнения i -той операции ($\mu = +1$), или убывших после выполнения i -той операции ($\mu = -1$). Остальные компоненты представляют собой сопроводительную информацию о каждом вагоне.

В качестве выходного сигнала выбран вектор

$$y(t) = (y_1(t), y_2(t), \dots, y_n(t)),$$

для которого $y_i(t) = z_i(t)$ (информация о наличии i -тых вагонов на станции). Тогда функция переходов φ описывается соотношениями вида

$$z_i(t) = z_i(t-1) + \mu x_i(t),$$

а функция выходов ψ — соотношениями

$$y_i(t) = z_i(t).$$

В соответствии с указанной стратификацией перевозочного процесса была разработана и внедрена автоматизированная система учета вагонов на первом этапе — автоматизированный учет вагонов по комбинату, затем по металлургическому комплексу, впоследствии по станциям и фронтам погрузки — выгрузки.

Общая структура системы автоматизированного учета вагонов заключается в следующем.

В пунктах приема и сдачи вагонов магистрального транспорта, на железнодорожных станциях металлургического комплекса, в местах погрузки готовой продукции стана 2000 организована автоматизированная обработка учетной информации и передача данных с помощью технических средств в вычислительный центр УЖДТ. Передаваемые сообщения содержат сведения о времени, количестве и принадлежности вагонов, номера вагонов и накладных, код и массу груза в каждом вагоне, коды отправителей и получателей, дату отправления прибывших вагонов, специальные сведения, необходимые для расчета стоимости перевозки и др.

Поступившая в ВЦ информация вводится в ЭВМ, где формируются информационные массивы, на основе которых в заданные моменты времени рассчитываются и выдаются на печать учетные сведения, всесторонне характеризующие работу железнодорожного транспорта.

Дальнейшее совершенствование транспортной информационной системы связано с интегрированным использованием информации в различных подсистемах АСУ металлургического комплекса, комбината в целом, а также на магистральном транспорте.

В последние годы в действующих цехах металлургического комплекса наряду с железнодорожным все большее применение находят другие виды транспорта. Их использование позволило значительно сократить капиталовложения и эксплуатационные расходы, увеличить производительность транспортных средств, уменьшить потери и улучшить качество сырья и материалов, применить прогрессивные конструкторские и технологические решения и в конечном счете снизить себестоимость продукции.

Для перевозки массовых грузов (руды, угля, кокса, агломерата и др.) широко применяется непрерывный (прежде всего конвейерный) транспорт, вплоть до подачи доменной сырьев на колосник доменной печи. Автомобильный транспорт используется для перевозки таких технологических грузов, как шлам и окалина из отстойников, огнеупоры, известь, доломит, обрезь и др.

Широкое использование других видов транспорта привело к необходимости координации их работы. В условиях АСУ для управления каждым видом транспорта предусмотрены локальные подсистемы.

Функции реализованной АСУ автомобильным транспортом заключаются в следующем: учете перевозок, работы и простоев транспортных средств, технико-экономическом планировании работы

транспорта, оперативно-календарном планировании, включая маршрутизацию перевозок, диспетчеризации управления и др.

В АСУ конвейерными системами автоматизирован учет выполнения операций и запаса материалов, выполняются функции слежения за загрузкой и рабочим состоянием конвейерных трактов, заполненностью бункеров и количеством выдаваемого из них груза. На основе этой информации обеспечивается оптимальный режим работы транспортной системы.

6 ЭФФЕКТИВНОСТЬ АВТОМАТИЗАЦИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Применение автоматизированных систем управления способствует повышению производительности металлургических агрегатов, значительному улучшению качества продукции, достижению высоких и устойчивых технико-экономических показателей работы, что позволило окупить затраты на создание АСУТП и АСУП в течение 1 – 2 лет.

Благодаря внедрению системы автоматического контроля и управления газораспределением доменной печи № 5 уменьшен расход кокса и топлива на нагрев дутья и увеличена производительность печи.

Экспериментально установлено, что снижение расхода кокса составляет 1,4 %, а увеличение производительности печи – 1,6 %. Годовая экономия кокса – 25 тыс.т, прирост производства чугуна – 70,5 тыс.т. Время окупаемости затрат на систему автоматического контроля и управления газораспределением – 1,6 года, что свидетельствует о ее высокой эффективности.

Вследствие внедрения автоматизированной системы динамического управления конвертерной плавкой получены следующие технико-экономические показатели: достижение заданной температуры стали с точностью $\pm 15^{\circ}\text{C}$; количество плавов без промежуточных повалов конвертера более 86 %; сокращение длительности плавки на 12 %, длительности продувки на 20 %; уменьшение расхода кислорода на продувку 8 %; увеличение выхода жидкой стали.

Экономический эффект от внедрения АСУТП машин непрерывного литья заготовок достигнут за счет увеличения выхода годного металла на 0,8 %, повышения производительности МНЛЗ на 2,5 %, экономии энергоресурсов и электроэнергии, улучшения условий труда, сокращения простоев и повышения сроков службы оборудования. Время окупаемости системы – 1,5 года.

Экономические показатели широкополосного стана 2000 горячей прокатки в значительной мере определяются качеством его про-

дукции. Ввод в эксплуатацию АСУТП способствовал повышению точности прокатки и улучшению физико-механических свойств готовой продукции.

Результаты проведенных измерений толщины полос для классов 1 — 5 при работе системы автоматического управления прокаткой приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1 Результаты измерений толщины полос

Показатель	Класс*		
	1	2 и 3	4 и 5
Среднеквадратичное отклонение, мм	$\pm 0,04$	$\pm 0,025$	$\pm 0,05$
	$\pm 0,03$	$\pm 0,020$	$\pm 0,04$
Абсолютное отклонение на 68,2 % длины полосы, мм	$\pm 0,04$	$\pm 0,025$	$\pm 0,05$
	$\pm 0,03$	$\pm 0,020$	$\pm 0,04$
Разброс средних толщин в пределах одной партии полос, мм	0,0	0,08	0,15

* Класс 1 — до 1,8 мм; классы 2 и 3 — 1,8 — 0,6 мм; классы 4 и 5 — свыше 6 мм; в числителе — по отношению к заданному значению толщины полосы, в знаменателе — по отношению к среднему значению толщины полосы по всей длине.

При прокатке полос в автоматическом режиме управления по сравнению с работой стана при ручном управлении средняя величина отклонения толщины полосы от заданного значения меньше в 1,2 — 4,3 раза, а продольная разнотолщинность в 1,2 — 1,4 раза. Согласно гистограммы на рис. 6.1 количество полос, толщина которых точно соответствует номиналу (2,6 мм), увеличилась почти в 2 раза (с 20,5 до 38 %) после перехода с ручного режима управления на автоматизированный с помощью АСУТП 1 и АСУТП 2. Среднеквадратичное отклонение ширины полос, прокатанных в автоматическом режиме работы стана, не превышает 3,0 мм.

Освоение автоматической системы управления приводами чистой группы стана позволило получать горячекатаные полосы, абсолютное отклонение толщины которых на 95,5 % их длины не превышает $\pm 0,05$ мм, а ширины — 9 мм.

Благодаря высокой точности размеров горячекатаных полос производства автоматизированного стана 2000 поставка листового

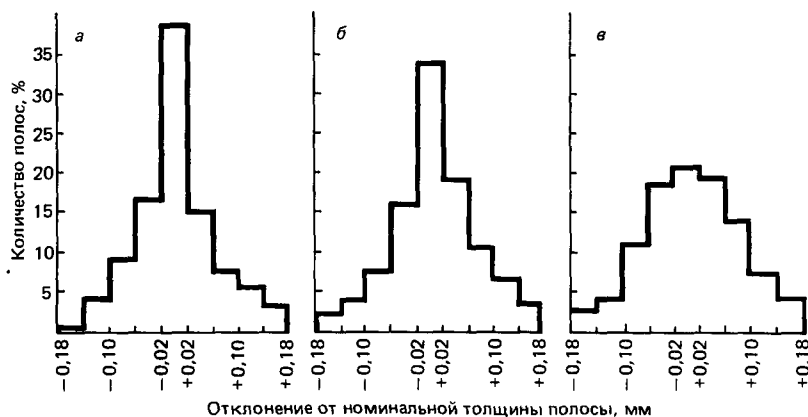


Рис. 6.1. Гистограммы распределения толщины полос, прокатанных по трем режимам:
 а – автоматическое управление печами и станом; б – ручное управление печами и автоматическое станом; в – ручное управление печами и станом

проката выполняется по размерам в поле минусовых допусков. Потребитель в этом случае получает 6 – 7 % дополнительной листовой продукции без увеличения ее массы.

Физико-механические свойства полос решающим образом зависят от температуры их прокатки и свертывания в рулоны. Применение УВМ обеспечивает следующую точность соблюдения заданных температур: среднеквадратичное отклонение температуры конца прокатки $\pm 5^{\circ}\text{C}$; максимальное отклонение температуры на всей длине полосы по отношению к заданному $\pm 10^{\circ}\text{C}$, по отношению к среднему значению по длине полосы $\pm 7^{\circ}\text{C}$; максимальное отклонение температуры свертывания полосы в рулоны на 95,5 % длины для первой группы моталок и на 99,5 % длины для второй группы моталок от заданного значения $\pm 20^{\circ}\text{C}$ и от среднего значения по длине полосы $\pm 17^{\circ}\text{C}$.

Достаточно высокая точность выполнения заданного температурного режима производства горячекатаных полос создала благоприятные условия для поставок продукции в полном соответствии с требованиями стандартов.

Применение УВМ С-306 в комплексе автоматических систем управления станом 2000 обеспечило стабильность параметров техно-

Таблица 6.2 Данные продольной разнотолщинности полос

Показатель	Класс*		
	1	2 и 3	4 и 5
Среднеквадратичное отклонение, мм	$\pm 0,035$	$\pm 0,020$	$\pm 0,05$
	$\pm 0,025$	$\pm 0,018$	$\pm 0,04$
Абсолютное отклонение на 88,2 % длины полосы, мм	$\pm 0,04$	$\pm 0,025$	$\pm 0,050$
	$\pm 0,03$	$\pm 0,020$	$\pm 0,045$

* см. табл. 6.1.

логического процесса. Это, например, сказалось на уменьшении количества полос, не удовлетворяющих требованиям стандарта по волнистости (коробоватости) до 0,03 %. Применение УВМ С-305 позволило уменьшить на 2 – 3 % окисление металла в ходе нагрева слябов и сократить на 2,5 – 3,5 % расход топлива.

Согласно работам [1, 2], продольная разнотолщинность полос, прокатанных на стане 2000, в условиях управления технологическим процессом при помощи УВМ, характеризуется данными, приведенными в табл. 6.2.

Среднее квадратическое отклонение ширины полос, прокатанных в автоматическом режиме, контролируемом УВМ, составляет 2 – 3 мм.

Точность прокатки снижается в 1,2 – 1,4 раза, если регулирование параметров технологического процесса передано только локальным автоматическим системам.

Таблица 6.3 Параметры полосы

$C_{\text{ЭКВ}}$	$t_{\text{К.П.}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{СВ}}, ^\circ\text{C}$	$C_{\text{ЭКВ}}$	$t_{\text{К.П.}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{СВ}}, ^\circ\text{C}$
0,24	750–780	550–580	0,28–0,30	780–810	580–610
0,24–0,26	760–790	560–590	0,30–0,32	790–820	590–620
0,26–0,28	770–800	570–600	0,32	800–830	600–630

Применение УВМ в системах контроля и управления технологическим процессом на стане 2000 позволило регламентировать температуру конца прокатки $t_{к.п.}$ и свертывания $t_{св}$ полос в достаточно узких пределах (табл. 6.3).

Углеродный эквивалент $C_{экв} = C + 0,2 \text{ Мп}$, где C и Мп — содержание в стали углерода и марганца соответственно, %.

Указанные температурные условия деформации металла обеспечивают получение горячекатаных листов со следующими механическими свойствами (не менее):

Толщина листа, мм . . .	4	5	6	7	8	9	10
σ_T , МПа	360	340	390	370	360	350	340

Гарантированное увеличение значения предела текучести, например, стали СтЗсп по сравнению со значениями, обусловленными стандартом, на 80 — 110 МПа позволило уменьшить толщину листов конструкционных сталей без снижения прочности самих конструкций. Вместо листов толщиной 4 и 5 мм можно поставлять листы толщиной 3,5 и 4,5 мм соответственно, а вместо листов 6 — 12 мм — 5 — 11 мм (т.е. на 0,5 — 1,0 мм меньше заказанного размера). В результате поставки металла по теоретической массе, рассчитываемой по номинальной (заказной) толщине, комбинат экономит до 12 % прокатной продукции в год.

Участок нагрева слябов потребляет 70 — 80 % всех видов энергетических ресурсов, поступающих на стан 2000. Поэтому экономия энергии в процессе нагрева металла относится к числу важнейших задач. Применение АСУТП 1 нагрева слябов для прокатки их на стане 2000 позволило сократить на 2,5 — 3,5 % расход топлива и уменьшить на 2 — 3 % окисление металла.

Применение АСУТП способствовало повышению производительности стана, значительному улучшению качества проката, достижению высоких технико-экономических показателей основных агрегатов. Затраты на создание АСУТП стана окуплены в течение 2-х лет со дня ввода в эксплуатацию.

7 ПРОДОЛЖЕНИЕ СОТРУДНИЧЕСТВА

На комбинате широким фронтом осуществляется строительство новых, реконструкция и модернизация существующих металлургических агрегатов. Сотрудничество с фирмой "Сименс" в области автоматизации технологических и производственных процессов продолжается.

В настоящее время производится реконструкция цеха холодной прокатки, включающая в себя строительство пятиклетевого стана 1700 бесконечной прокатки производительностью 1,5 млн.т проката в год. Генеральным поставщиком оборудования является ПО "Уралмаш-завод".

Пятиклетевой стан предназначен для прокатки горячекатаных, травленных полос из углеродистых, низколегированных и электротехнических сталей с содержанием кремния до 1,8 %. Подкат и готовая продукция стана имеют следующие характеристики: толщина исходных полос 2,5 мм; толщина полос после прокатки 0,4 – 2,0 мм; ширина полос 900 – 1500 мм; масса рулонов до 30 т.

Оборудование пятиклетевого стана бесконечной прокатки состоит из следующих частей: головной, включающей в себя механизмы подачи и подготовки рулонов, отгибания конца полосы, размотки рулонов, плавки, сварки и транспортирования полосы с натяжением; петлевого устройства, предназначенного для создания запаса полосы, обеспечивающего непрерывную работу стана при остановке механизмов головной части для сварки заднего конца предыдущей с передним концом последующей полосы; входной, объединяющей механизмы между петлевым устройством и первой клетью стана; пяти рабочих клеток с главными приводами, гидронажимными устройствами, механизмами установки валков по линии прокатки и др.; выходной, включающей летучие ножницы для реза полосы в конце намотки рулона, две моталки, механизмы транспортирования полосы к моталкам и заправки ее переднего конца, механизмы съема готовых рулонов и транспортирования их для дальнейшей обработки. Стан оснащен современной автоматизированной системой управления технологическими и производственными процессами (разработчик – Киевское научно-производственное объединение "Промавтоматика").

АСУТП пятиклетевого стана предназначена для: начальной настройки стана; управления гидронажимными устройствами; автоматического регулирования толщины, натяжений и планшетности полосы; автоматического замедления механизмов головной части стана в конце размотки рулона и точного останова моталки в конце смотки рулона; сбора, обработки, отображения и регистрации технологической и производственной информации; диагностики неисправностей оборудования.

АСУТП стана имеет иерархическую структуру построения на базе двенадцати ЭВМ типа ПС 1001 (СССР) в дублированном варианте. В составе АСУТП предусмотрены микропроцессорные комплексы с высоким уровнем надежности. Технические средства измерения технологических параметров включают в себя: измерители толщины перед первой и после каждой клетью и натяжений в каждом меж-

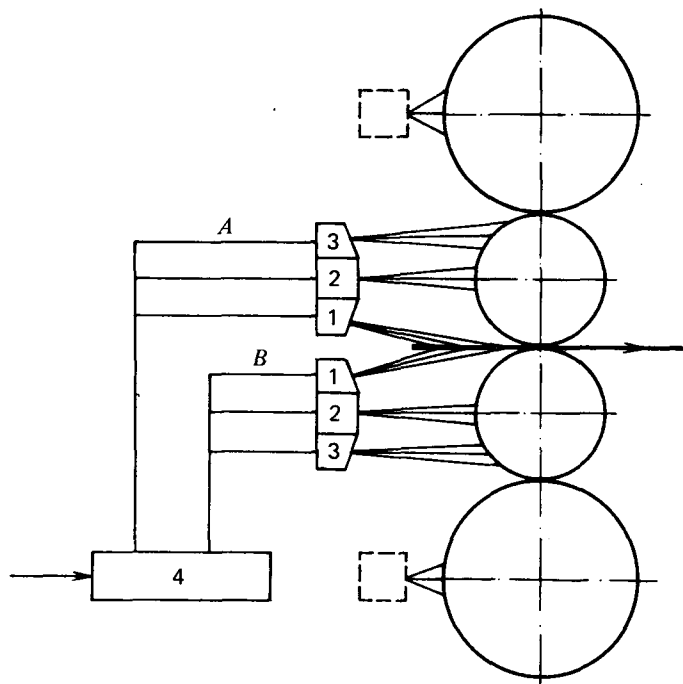


Рис. 7.1. Схема охлаждения рабочих валков клетки № 5:
A и *B* — коллекторы; 1 — 16 форсунок охлаждения; 2 и 3 — по 30 форсунок многозонного охлаждения; 4 — клапаны управления

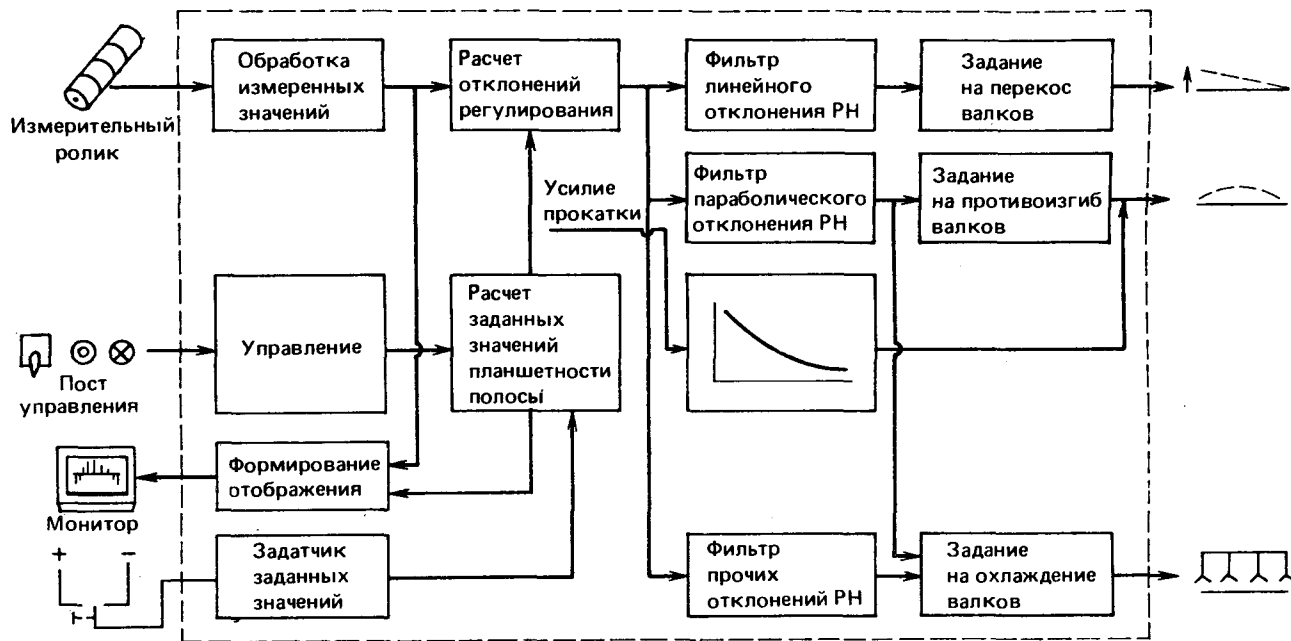


Рис. 7.2. Структурная схема регулирования планшетности на пятиклетевом стане бесконечной прокатки

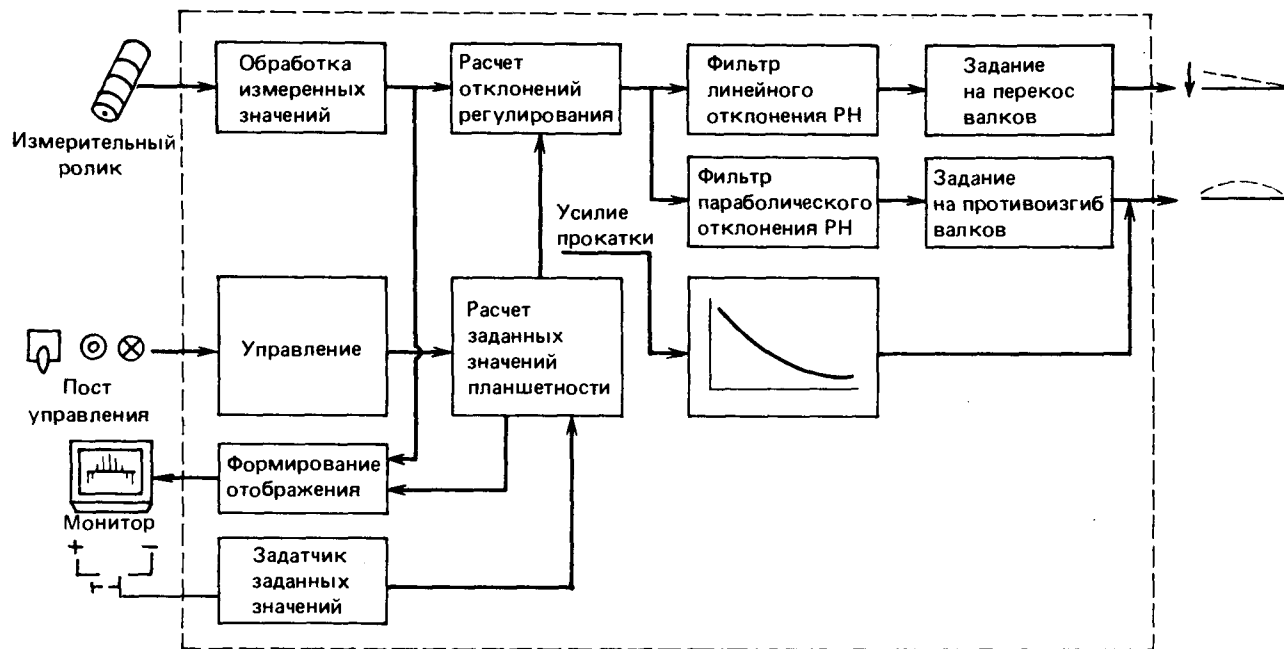


Рис. 7.3. Структурная схема регулирования планшетности на дрессировочном стане

клетевом промежутке; системы контроля и управления работой гидронажимных устройств; преобразователи усилий прокатки каждой клетки; устройство измерения зонных натяжений полосы после пятой клетки; датчики положения и углов поворота механизмов и др.

Часть механического, электрического оборудования и средств автоматизации поставлена фирмами ФРГ: "Сименс", "Шлеман-Зимаг". К ним относятся гидравлические нажимные механизмы и устройства противоизгиба с системой регулирования для пятиклетевого и дрессировочного станов; оборудование для зонного охлаждения рабочих валков пятой клетки; система регулирования планшетности полосы для прокатного и дрессировочного станов; оборудование для системы компенсации эксцентриситета опорных валков первой клетки.

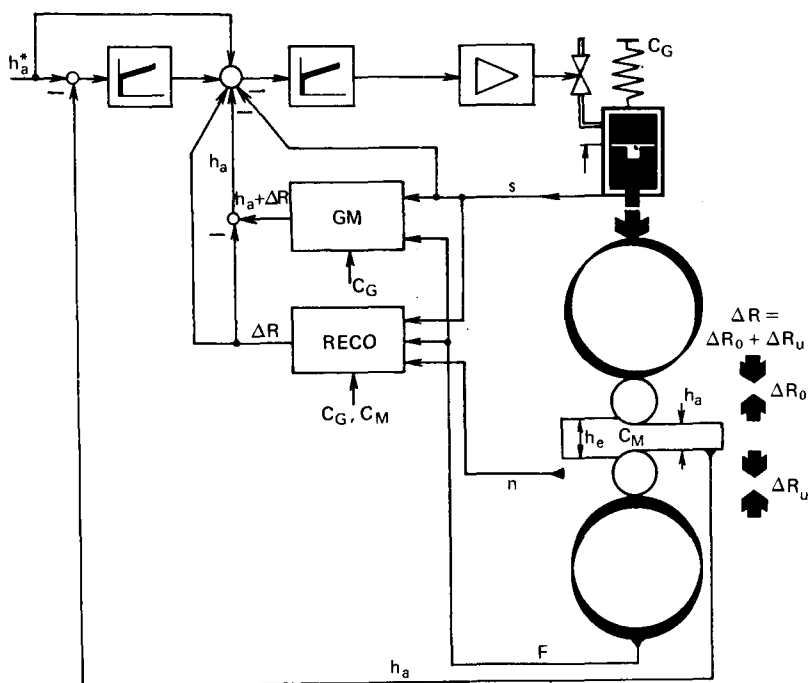


Рис. 7.4. Принцип действия компенсатора эксцентриситета опорных валков RECO

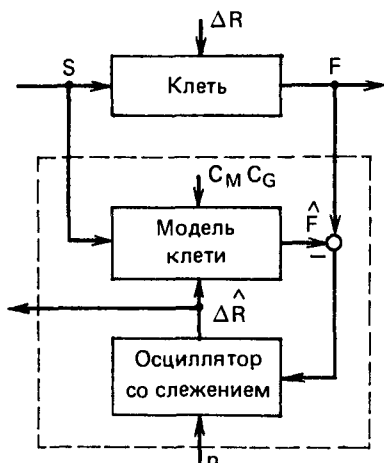


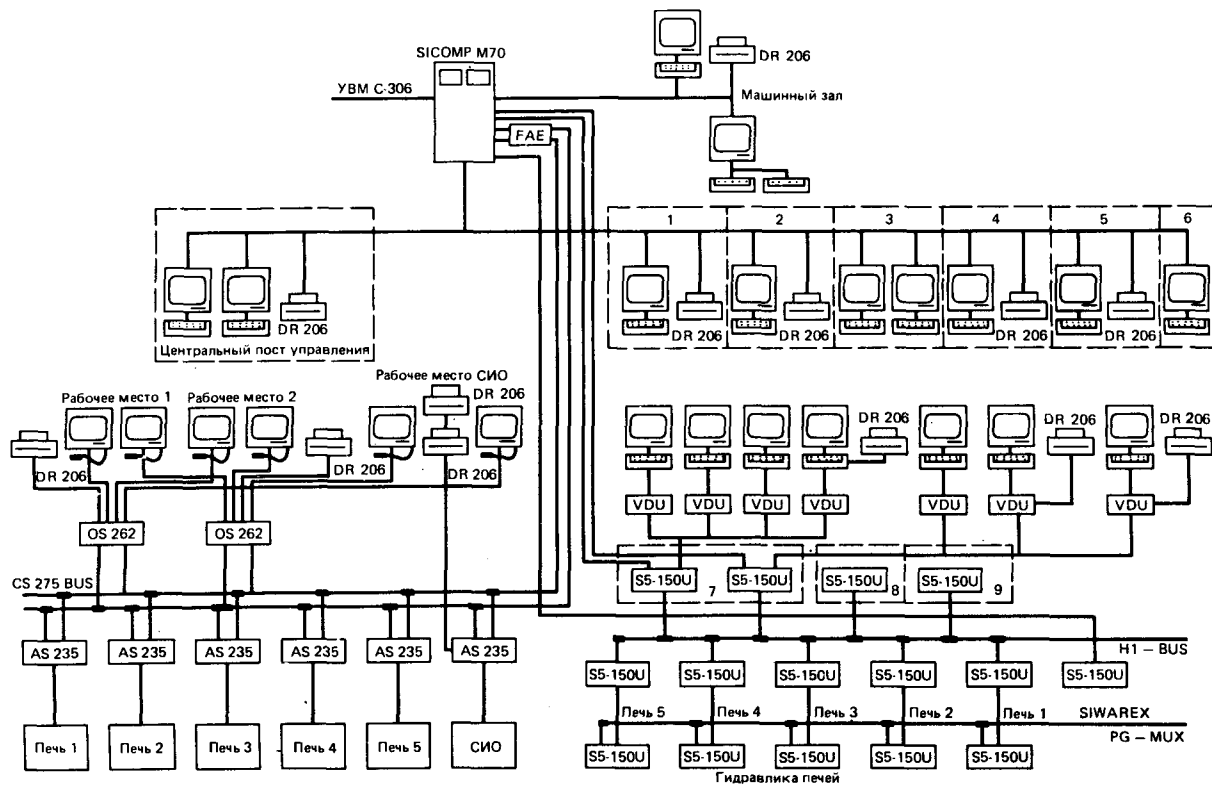
Рис. 7.5. Принцип моделирования эксцентриситета опорных валков

Гидронажимными механизмами и системами регулирования оснащаются все клетки прокатного и дрессировочного станов. Устройствами изгиба рабочих валков оборудуются пятая клетка и дрессировочный стан. Цифровое регулирование гидравлических нажимных механизмов (позиция, перекос валков) реализуется с помощью мульти-микрокомпьютерной многофункциональной системы СИКОМП ММК 216 (SICOMP MMC 216). ММК 216 используется в системе регулирования противоизгиба рабочих валков.

Многозонная система охлаждения рабочих валков пятой клетки обеспечивает подачу эмульсии на валки и полосу (рис. 7.1). Использование сопел по нескольким уровням обеспечивает систему способностью реагировать на нарушение планшетности полосы соответствующего характера с симметричным и несимметричным распределением. Тридцать две зоны охлаждения расположены в точном соответствии с измерительными зонами. Для дублирующего охлаждения используются отдельные управляемые соленоидные клапаны.

Рис. 7.6. Структурная схема технических средств автоматизации печей стана 2000:

1 – ввод данных, пост 1а; 2 – ввод данных, пост 1б; 3 – загрузка печей 1–5, пост 2; 4 – выдача слывов из печей 1 и 2, пост 5; 5 – выдача слывов из печей 3, 4 и 5, пост 4; 6 – склад слывов; 7 – изображение печи, данные о слыве; 8 – транспортирование слывов к (от) печей 3, 4 и 5; 9 – транспортирование слывов к (от) печей 1 и 2; СИО – система испарительного охлаждения



В качестве величины, характеризующей планшетность, используется распределение натяжения по ширине полосы, регистрируемое с помощью измерительного секционного (32 зоны) ролика. В качестве датчиков секций применяются пьезоэлектрические кристаллы кварца. Преобразованные сигналы датчиков с помощью ртутного вращающегося передатчика вводятся в ММК 216 для обработки.

Система регулирования планшетности с помощью процессов перекоса, противоизгиба и охлаждения рабочих валков (рис. 7.2) формирует оптимальный профиль зазора рабочих валков для достижения необходимого распределения натяжений полосы. Величины уставки регулирования планшетности определяются с помощью обработки в ММК 216 сигналов отклонения регулирования между кривой заданного значения планшетности и измеренным распределением натяжения. Структурная схема регулирования планшетности на дросировочном стане приведена на рис. 7.3.

Наличие эксцентриситета опорных валков первой клетки способствует возникновению периодических колебаний зазора между рабочими валками и вследствие этого появлению разнотолщинности полосы на выходе. Для исключения влияния эксцентриситета опорных валков ΔR (рис. 7.4) в системе регулирования толщины полосы (использующей гаугеметрический принцип *CG*) предусматривается применение компенсатора эксцентриситета РЕКО (RECO, Roll Eccentricity Compensator) на базе ММК 216.

В качестве измеряемых величин используются данные усилий прокатки F , уставки зазора между валками S и частоты вращения опорных валков n .

Компенсатор моделирует эксцентриситет $\Delta \hat{R}$ опорных валков и выдает сигналы коррекции (рис. 7.5).

В связи с предстоящей реконструкцией широкополосного стана 2000 горячей прокатки и доведения производства проката до 7 млн.т в год предполагается строительство нагревательной печи № 5 с шагающими балками, оснащенной современной комплексной системой автоматизации фирмы "Сименс". Одновременно со строительством новой нагревательной печи будет произведена модернизация системы автоматизации действующих печей.

В проекте АСУТП предусматривается, что подача и регулирование положения слябов при транспортировании, управление загрузкой в печи и выгрузкой на горячий рольганг осуществляется с помощью свободно программируемых контроллеров СИМАТИК C5-150

(SIMATIC S5-150). В системах автоматического регулирования теплового режима нагревательных печей используются ТЕЛЕПЕРМ АС 235 (TELEPERM AS 235). Функции: слежения за слябами, отображения состояний печей, расчета времен выдержки и пропускной способности, расчета прогрева слябов и заданных значений, адаптации математических моделей и др. — выполняются УВМ СИКОМП-М (SICOMP-M).

Структурная схема технических средств автоматизации нагревательных печей стана 2000 приведена на рис. 7.6.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Опыт применения ЭВМ в АСУТП непрерывного широкополосного стана 2000 Череповецкого металлургического завода: Экспресс-информация/Ананьевский М.Г., Беняковский М.А., Сергеев Е.П. и др. М.: "Чермет-информация". – 1980. 39 с.
2. Автоматизированные широкополосные станы, управляемые ЭВМ/Беняковский М.А., Ананьевский М.Г., Коновалов В.Я. и др. М.: Металлургия. – 1984. 240 с.
3. Туркенич Д.И. Управление плавкой стали в конвертере. М.: Металлургия. – 1971. 360 с.
4. Булатов Ю.И. Методы алгоритмизации процессов прокатного производства. М.: Металлургия. – 1979. 240 с.
5. Lange K.W. Zur Prozeßsteuerung bei Sauerstoffblasverfahren Stahl und Eisen 102 (1982), S. 515 – 519.
6. Лебедин В.Ф., Липухин Ю.В., Андреев М.А. Автоматизация управления производственными и технологическими процессами на Череповецком металлургическом комбинате/Приборы и системы управления. 1985. № 2. С. 13 – 15.
7. Peters K.H., Altpeter W., Bachhoden H.J., Gunther G., Kreibich K.H. Entwicklung eines Prozeßsteuerungs – und Optimierungssystems für den Hochofen Schwelgern, Stahl und Eisen, 12/13 (1984) 575 – 580.
8. Peters K.H., Altpeter W., Bachhofen H.J., Gunther G., Kreibich K.H. Betriebserfahrungen mit dem Prozeßsteuerungs – und Optimierungssystem für den Hochofen Schwelgern, Stahl und Eisen, 14 (1984) 679 – 682.
9. Poos A., Luckers J., Dauby G., Franssen R., Pirtet R. Überwachung des Hochofenbetriebes mit einer Spirothermvorrichtung Stahl und Eisen 102, 3 (1982) 107 – 111.
10. Schneider W. Probing the blast Furnace for better gas distribution, Steel Times, April 1988.
11. Heinz W., Schwarz W. Moderne Meßmethoden als Voraussetzung für die Automatisierung des Blasstahlkonverter-Prozesses, Fachberichte Huttenpraxis Metallweiterverarbeitung, 22 No 70 1984 978 – 983.
12. Bock G. Automation of the Blowing Process in LD Steelworks, Siemens Power Engineering IV No 1 1982, 33 – 36.
13. Fiege L., Delhey H.M., Friedl E., Gerdow H. Oxygen Steelmaking Conference, Strassbourg France 1984.

14. *Friedl E.* Dynamic BOF Process Control, Fachberichte Huttenpraxis Metalldeiterverarbeitung Nr 7 1985.
15. *Takemura Y., Saito T., Fakuda S., Kato K.* Nippon Steel Techn. Rept. 11 (1978) 57 – 68.
16. *Muhi P., Weber H.* Instrumentation and Automation of Pusher-Type Furnaces, Siemens Review XL 1973) No 8, 360 – 365.
17. *Friedl E., Kaiser H.P., Heinz W.* Automatisches Blasen und Direktabstich beim LD-Verfahren unter Einsatz der Sublanze Stahl und Eisen 109 (1989) Nr. 19 921 – 926.

Научное издание

Ю.В.Липухин, Ю.И.Булатов, Г.Бок, М.Кнорр

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Редактор издательства **А.А.Картошкин**
Художественный редактор **А.А.Якубенко**
Технический редактор **Е.К.Астафьева**
Корректор **И.Д.Король**
Переплет художника **В.Н.Забайрова**

Подписано в печать 14.05.90	Т-08182	ИБ № 3273
Бумага офсетная № 1	Печать офсетная	Формат бумаги 60х881/16
Усл.кр.-отт. 17,15	Уч.-изд.л. 16,15	Усл.печ.л. 17,15
Цена 3 р. 60 к.	Тираж 3000 экз.	Заказ № 347
	Изд. № 1589	

Набрано в издательстве "Металлургия"
на НПП оператором **Л.В.Сизовой**

Ордена Трудового Красного Знамени издательство "Металлургия"
119857, ГСП, Москва, Г-34, 2-й Обыденский пер., д. 14

Московская типография № 8 Союзполиграфпрома при
Государственном комитете СССР по печати

101898, Москва, Центр, Хохловский пер., д. 7

