



The main functions of the abovementioned system at planning of melting and the process control are shown.

А. Ю. ГАПАНЮК, РУП «БМЗ»

УДК 669

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧЬЮ ОРАКУЛ

Назначение системы

Автоматизированная система управления технологическим процессом выплавки стали в дуговой сталеплавильной печи разработана на базе физико-химической модели ОРАКУЛ для ДСП Белорусского металлургического завода.

Система выполняет:

- Прямую задачу – термодинамический прогноз текущего состава всех продуктов плавки и температуры металла по известному составу шихтовых материалов, шлакообразующих, введенной энергии.
- Обратную задачу – проектирование технологического процесса каждой конкретной

плавки перед ее началом с учетом заданных параметров (набора используемых материалов, заданной продолжительности и др.). По ходу плавки на основе анализа текущего состояния система корректирует технологический процесс оставшейся части плавки с целью получения заданного химического состава и температуры к нужному моменту времени.

- Управляет в соответствии с проектом технологического процесса электрическим и шлаковым режимом, легированием.

Схематично АСУ ТП ДСП1 показана на рис. 1.

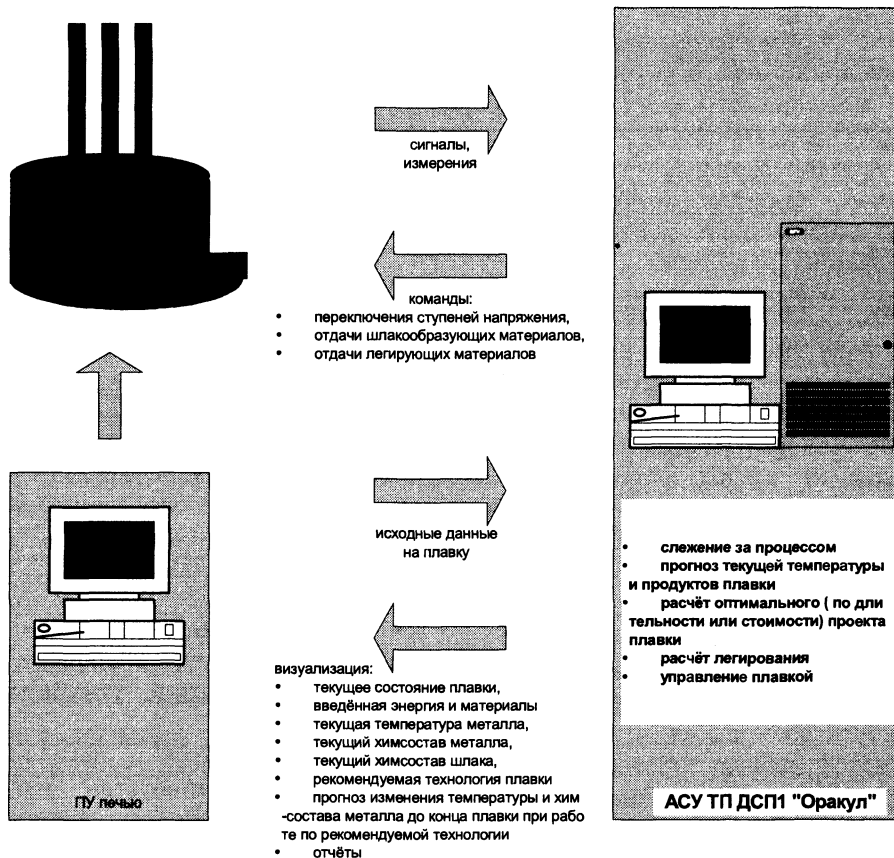


Рис. 1. АСУ ТП ДСП1

Основные функции системы приведены ниже.

Планирование плавки	Выбор нужной позиции из суточного плана выполнения заказов на заготовку. Ввод исходных данных (масса шихты, желаемое время выпуска, используемые материалы и т. д.).
Проектирование процесса выплавки заданной марки стали	Структурный синтез плавки с учетом заданных ограничений (длительность плавки, количество корзин, используемых материалов и т. п.). Расчет управляющих действий по ходу плавки (профиля вводимой мощности, объема и интенсивности продувки кислородом, количество отдаваемых шлакообразующих и легирующих материалов), обеспечивающих заданные критерии (химический состав продуктов плавки, температура) на конец каждого периода и подпериода плавки. Проверка спроектированной плавки модулем прогноза. Выдача сталевару проекта плавки в табличной и графической форме с оценочными (длительность, стоимость) данными. В случае невозможности выполнения задания (например, по длительности плавки) система выдаст рекомендации по изменению начальных условий. Поскольку обычно существуют отклонения реального процесса от проекта, по ходу плавки система производит периодический пересчет проекта оставшейся части плавки.
Слежение за процессом	Получение данных с систем и устройств 1-го уровня. Подсистема ввода-вывода информации принимает аналоговые, дискретные и счетные сигналы, сообщения (телеграммы) через последовательные порты RS232. На основе анализа принятых сигналов и расчетных величин определяют текущий период и подпериод плавки.
Прогноз химического состава продуктов плавки	Модули прогноза и расчета реакционной зоны определяют на текущий момент времени с учетом отданных материалов, введенной энергии и расчетной температуры, текущий химический состав продуктов плавки (металла в печи, шлака, отходящих газов).
Оптимизация отдачи шлакообразующих материалов	Расчет минимального по стоимости количества шлакообразующих материалов, при котором достигается заданный на конец периода (подпериода) химический состав и масса продуктов плавки. Отдача шлакообразующих материалов учитывает необходимость поддержания в печи пенистого шлака для экранирования дуг.
Оптимизация легирования металла	Расчет минимального по стоимости набора легирующих материалов для достижения заданного в ковше химического состава металла. При расчете легирования учитываются химический состав металла и шлака в печи, его окисленность, распределение легирующих элементов между металлом и шлаком в ковше, чем обеспечивается высокая точность попадания в заданный анализ.
Прогноз температуры	Используется для расчета текущей температуры по ходу плавки, а также в модуле проектирования для расчета ожидаемой температуры конца проектируемого периода (подпериода).
Адаптация моделей	Отслеживает медленные изменения параметров технологического процесса (например, связанные с изменением футеровки печи) и корректирует настроечные коэффициенты моделей.
Визуализация, диалоги	Обеспечивает взаимодействие технологического персонала с системой. Для удобства используются многооконная графика и представление данных в виде диаграмм.
Поддержка нормативно-справочной информации	Ввод и поддержка справочников по материалам и маркам стали, таблиц физических констант, данных по оборудованию и т. п.
Обмен информацией с другими системами 1-го, 2-го и 3-го уровней.	Передача команд управления, передача текущих данных и итоговых данных по плавке (производство, расходы материалов и энергии, простои и т. д.) в цеховую систему управления системы управления печью-ковшом и МНЛЗ. Получение из цеховой системы плана производства и НСИ.
Отчеты	Представление персоналу данных для учета и анализа.

Планирование плавки

Перед началом новой плавки сталевар выполняет планирование плавки — ввод исходных данных:

- Марка стали.
- Номер ГОСТ, ТУ или контракта.
- Номер профиля, если он присутствует в заказе.

• Желаемая минимальная и максимальная концентрации элементов в ковше. По умолчанию вводятся концентрации, указанные в технологической карте.

Примечание. Если в цехе имеется система планирования производства, эти данные могут вводиться из суточного задания «привязкой» плавки строке плана.

Кроме того, сталевар должен ввести или проверить:

- количество корзин на плавку (по умолчанию предлагаются две корзины);
- номер первой корзины. После ввода номера первой корзины данные по ее загрузке, переданные из копрового цеха, выдаются сталевару для проверки и квитирования;
- ожидаемую массу выпуска (по умолчанию принимается 110 т);
- массу болота (по умолчанию 10 т). В дальнейшем масса болота будет рассчитываться системой;
- перечень имеющихся (разрешенных для использования) материалов в бункерах (по умолчанию принимается перечень материалов предыдущей плавки);
- желаемое время выпуска или длительность плавки.

У сталевара имеются возможности ввести или скорректировать также и некоторые другие параметры.

Планирование плавки может выполняться как до начала плавки, так и в течение ее. В последнем случае система производит «откат» на начало плавки и пересчет проекта плавки и уже выполненных на печи действий. Можно также спланировать несколько плавков вперед. Введенные данные запоминаются и учитываются при начале соответствующей плавки.

Слежение за плавкой

Слежение за плавкой, т.е. распознавание системой с высокой достоверностью текущего состояния технологического процесса выплавки стали, является одной из основных задач системы. Это *прямая задача*, от качества решения которой зависит качество управления плавкой. В слежении за плавкой участвуют в разной степени многие программные модули системы. Основные из них.

Подсистема сбора данных о процессе

Для слежения за процессом выплавки система ОРАКУЛ получает необходимые сигналы и сообщения из систем 1-го уровня. Это:

- данные по загрузке корзин в копровом цехе;
- дискретные сигналы о перемещении свода;
- сигналы включения и отключения печи, газокислородных горелок, кислородного копия;
- расходы электроэнергии, газа, кислорода в печь, расход аргона или азота в ковш;
- изменения ступеней напряжения;
- данные по отдаваемым в печь или ковш материалам;
- измерения температуры;
- данные по химическому составу металла из лаборатории;
- сигналы наклона печи для слива металла;
- масса металла в ковше;

- различные дискретные сигналы, такие, как положение засыпной трубы, положение переключателей;

- различные аналоговые сигналы по системе охлаждения печи и удаления дыма.

Ввод данных осуществляется через подсистему ввода-вывода. Схема связи АСУ ТП ДСП1 «Оракул» с локальными системами 1-го уровня приведена на рис. 2.

Модуль слежения за периодами плавки

Модуль слежения за периодами плавки (модуль SPY) по сигналам наклона печи, перемещения свода, по расходу энергии, текущей температуре металла в печи определяет моменты начала плавки, загрузки корзины, текущий период и подпериод плавки и т.п.

Модуль термических расчетов

Определяет текущую температуру металла в печи. Данными для расчета энергетического баланса являются тип и масса загруженной шихты; ввод электроэнергии; расход природного газа; расход кислорода в копье; тип и масса отданных в печь материалов (шлакообразующих и вспомогательных); потери энергии.

Модуль запускается циклически. По расчетной температуре определяется также масса расплавившейся и твердой шихты с печи.

Модуль прогноза химического состава продуктов плавки

Рассчитывает текущий химический состав металла и шлака в печи. Расчет производится циклически. Данными для расчета являются тип и масса расплавившейся за цикл шихты, тип и масса отданных в печь материалов, объем введенного кислорода, температура металла в печи, химический состав металла по данным из лаборатории спектрального анализа.

Прогнозное значение химического состава металла и шлака используется для предоставления сталевару, а также для управления процессом.

Управление процессом

Система осуществляет управление электрическим режимом; работой горелок; работой кислородного копия; отдачей шлакообразующих материалов; отдачей легирующих материалов.

Управление вводом энергии (электрической, кислородного копия, газовых горелок), отдачей шлакообразующих материалов осуществляется на основе рассчитанного модулем проектирования проекта технологического процесса плавки.

Первоначальный проект плавки рассчитывается после ввода исходных данных при планировании плавки. Расчет проводится с использованием модуля оптимизации, обеспечивающего минимизацию стоимости плавки. Готовый проект плавки в табличной форме (рис. 3) и графическом виде (рис. 4) выдается сталевару для оценки. Если сталевара не устраивают показатели плавки,

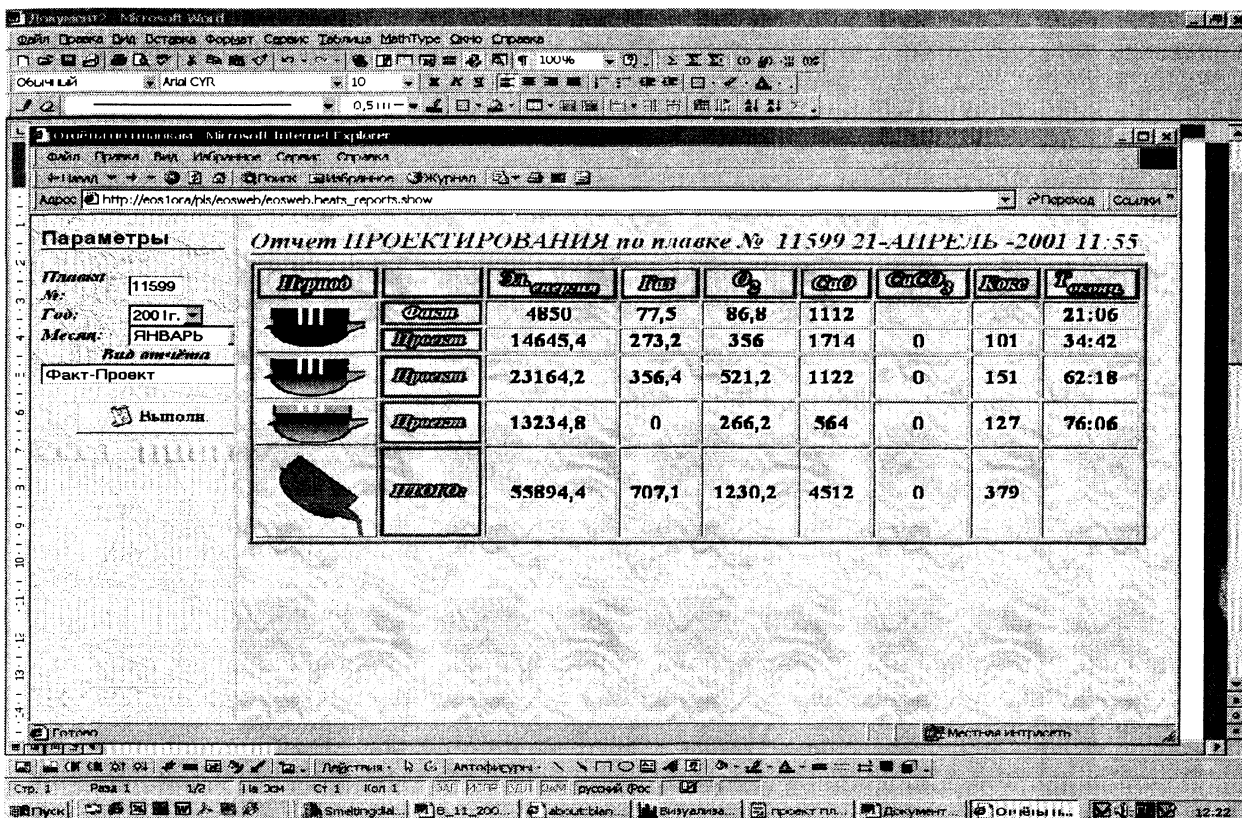


Рис. 3. Проект плавки в табличной форме

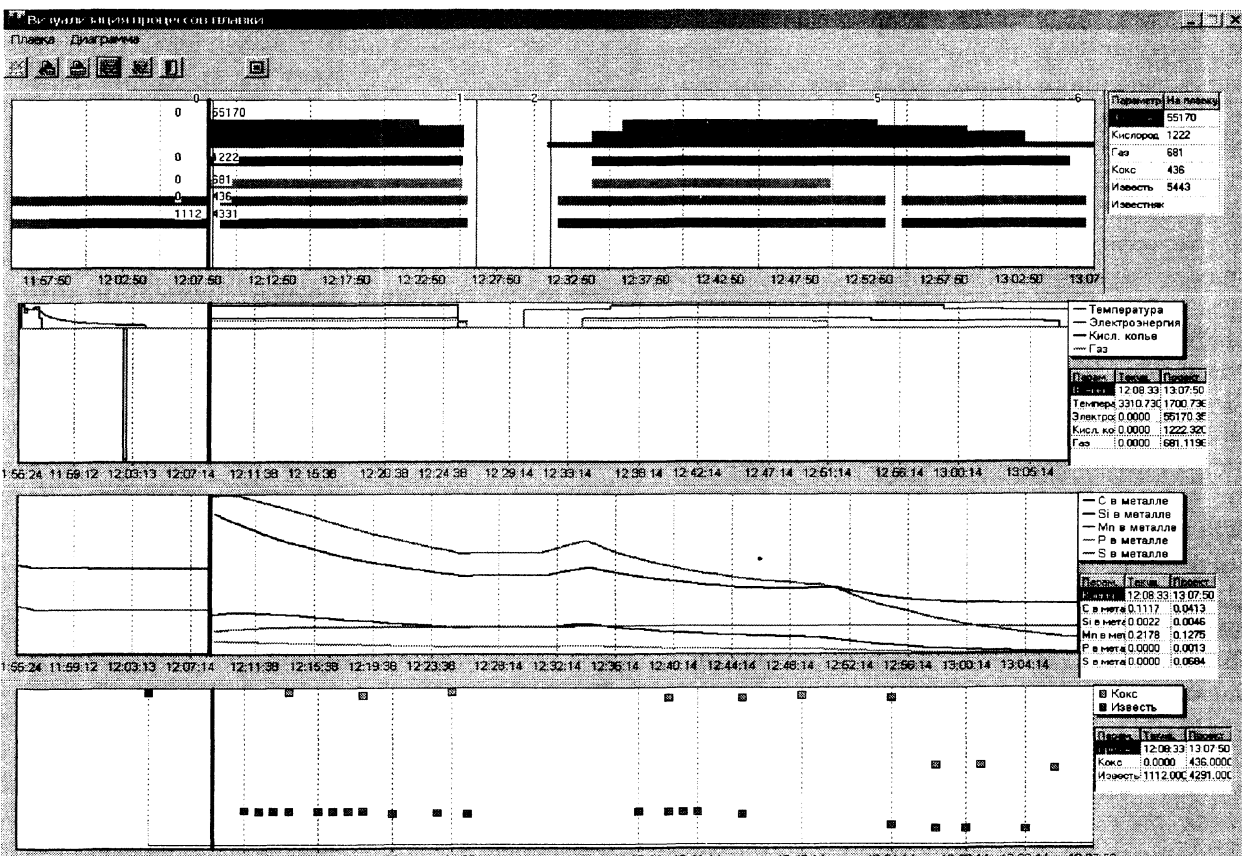


Рис. 4. Проект плавки в графическом виде

например, продолжительность плавки или расход материалов, он может изменить исходные данные и выполнить проектирование плавки с другими исходными данными. Принятый проект плавки — основа для управления процессом. Он содержит.

1. Профиль ввода электрической мощности. В период расплавления шихты набор рабочих ступеней напряжения печного трансформатора задается технологическим персоналом в виде электродиаграммы. При проектировании плавки определяются моменты необходимого изменения вводимой мощности, т.е. моменты перехода с одной заданной ступени на другую. В период доводки модуль проектирования определяет вводимую мощность (ступени напряжения и моменты переключения) исходя из необходимости одновременной готовности металла к сливу по химическому составу и температуре.

2. Профиль работы горелок. В системе имеются характеристики газокислородных горелок, в том числе минимальная и максимальная вводимые мощности. В процессе проектирования определяются оптимальные моменты включения и выключения горелок.

3. Диаграмму работы кислородного копыя.

4. Диаграмму отдачи шлакообразующих материалов. Диаграммы работы копыя и отдачи шлакообразующих рассчитываются исходя из задачи поддержания необходимых физико-химических параметров технологического процесса — окисления углерода, поддержания необходимого количества вспененного шлака, удаления примесей и т. п. при минимальной стоимости.

Естественно, на ход процесса влияет множество действий, которые заранее невозможно учесть (аварийные остановки печи, занятость оборудования, отсутствие материала и т. п.), в процессе выплавки ситуация постоянно меняется, поэтому модуль проектирования плавки циклически выполняет проектирование оставшейся части плавки с учетом фактического хода процесса.

Управление переключением ступеней напряжения производится автоматически посылкой заданной ступени напряжения и сигнала переключения.

Управление отдачей шлакообразующих также осуществляется автоматически посылкой сообщения в систему управления дозирующими устройствами.

Управление газокислородными горелками и кислородным копыем производится в режиме совета из-за соображений безопасности.

Расчет набора легирующих материалов для получения заданной марки стали производится модулем оптимизации.

Минимизация стоимости легирующих обеспечивается использованием симплексного метода. Расчет легирования производится на нижнюю границу рекомендованного химического состава.

Этот расчет так же, как и проектирование плавки, производится циклически и учитывает текущий химический состав металла и шлака в печи.

Управление отдачей легирующих материалов возможно в автоматическом режиме. В этом случае мастер проверяет и квитирует расчет, после чего в систему дозирования сыпучих материалов посылаются сообщения, содержащие типы и массы легирующих материалов.

В режиме совета мастеру рекомендуемый системой набор легирующих материалов выдается на экран дисплея, сталевар сам управляет отдачей материалов через систему дозирования 1-го уровня.

Нормативно-справочная информация

АСУ ТП ДСП1 использует справочники.

- Марок стали. Содержит технологические карты на марки стали, выплавляемые на ДСП1.

- Материалов. Содержит характеристики используемых на ДСП1 материалов (химический состав, стоимость, тепло плавления, энтальпия, скорость и минимальная порция отдачи, распределение между металлом и шлаком и др).

- Физико-химических свойств элементов таблицы Менделеева.

- Настроечных коэффициентов моделей.

- Кодов и норм простоев.

- Состав производственных бригад ДСП1 и др.

В составе ПО системы имеются соответствующие диалоги для поддержки НСИ.

Некоторые данные для указанных справочников система импортирует из заводских справочников.

Визуализация, диалоги, отчеты

Человеко-машинный интерфейс организован через систему дисплеев, диалогов и отчетов.

Имеются два главных окна визуализации: текущего состояния плавки (рис. 5) и проекта плавки (приведено выше).

Главное окно имеет меню, посредством которого можно вызвать следующие диалоги и отчеты.

- Диалог планирования плавки. В этом диалоге вводятся данные на следующую плавку, которые являются исходными данными для модуля проектирования.

- Диалог загрузки корзины.

- Диалог взятия пробы металла. Для прогнозирования текущего химического состава продуктов плавки, сопоставления и «привязки» его к фактической концентрации элементов по данным спектральной лаборатории очень важно зафиксировать в системе момент взятия пробы металла из печи. В системе это производится следующим образом: перед взятием очередной пробы система предлагает ее номер пробы для текущей плавки в печи. Сталевар может исправить эти данные. При отправке пробы в лабораторию спектрального анализа сигнал включения пневмопочты «при-

Microsoft Internet Explorer
Адрес: http://eos.lora/pl/eosweb/eosweb.fronaj.home

Месяц: 2001-04 День: 21 Плавка: 11599 Пуск, если не было изменения плавки: Пуск

Отчет о плавке Плавка - 10417

Печь-1

Номер	Плавка	Марка	Начало	Конец	Вес
5923	10417	GRADE 460	31-01-01 01:33	31-01-01 03:02	109,6

Корзины

Печь						Котловый				
Вр. от нач. плавки	Время	Корзина	Номер корз.	Номер слоя	Имя	Вес	Номер слоя	Номер корз.	Материал	Вес
7,7	01:41	1	8	1	Кусковой (лом А)	60,01	1	8	Кусковой (лом А)	3,35
26,7	02:00	2	-2	1	B22 легированный (лом Б)	10,35	1	-2	B22 легированный (лом Б)	10,35
26,7	02:00	2	-2	2	Кусковой (лом А)	49,75	2	-2	Кусковой (лом А)	49,75

Периоды плавки		Материалы		Расход	
Период	Длительность	Материал	Вес материала	Вид расхода	Расход
Заправка+Завалка	6,4	Кусковой (лом А)	115,02	Расход газа в горелке	669,79
Расплавление 1х	20,7	Силикомарганец 17	77	Расход кислорода в горелке	1259,71
Подвалка	2,7	Ферромарганец 78	12	Расход кислорода в ковш	1841,72
Расплавление	28,6	Ферросилиций 65	48	Расход энергии	52,125
Доводка	30,8	Известь	5,75		
Слив	5,6	Кокс	51		
Простои	0	Керамзит	2		
Длительность пл.	89,3				
Время под током	60				
ПСН в авт %	27				
Сытуше в авт %	100				

Простои

Вр. от нач. плавки	Время начала	Время конца	Продолж. ст.	Вызовник	Причина

Microsoft Internet Explorer
Адрес: http://eos.lora/pl/eosweb/eosweb.fronaj.home

Месяц: 2001-04 День: 21 Плавка: 11599 Пуск, если не было изменения плавки: Пуск

75,1	02:48			Продукта вкл						1734
76	02:49			Кокс	Печь		30			
76,2	02:49			Известь	Печь		116			
78	02:51								1670:1681:м11	
80,1	02:53	03:08	15,5	Печь выкл.		52:55	23			
80,3	02:53			Продукта откл					1723:1702:21	1841,72
80,3	02:53									
83,7	02:57				Начало слива					
85,7	02:59			Ферросилиций 65	Печь-ковш		378			
87,6	03:00			Силикомарганец 17	Печь-ковш		774			
89,3	03:02				Конец слива					
94,1	03:07								1608:1702:м34	
102,8	03:16			Ферросилиций 65	Аргонка		102			
103,8	03:17			Ферромарганец 78	Аргонка		122			
111,1	03:24								1639:1702:м63	
127,9	03:41								1616:1702:м86	
142,6	03:53								1601:1702:м101	
152,6	04:03								1593:1702:м107	
156,4	04:09								1582:1702:м120	

Пробы

Время	Время пробы	C	SI	MN	P	S	CR	NI	CU	AS	AL	MO	TI	V	NB	SK	B	FB	SB	CO	CA	O	FE	
56,3	07:49:35	11	3941	0188	192	0001	0518	1189	1152	727	009	2127	0075	0007	0045	0006	0082	0003	0016	0011	0098	0001	0071	095,65
65,3	02:38:36	12	2291	0181	2011	008	047	1139	1166	2159	0088	2352	0089	0012	0049	0084	0078	0003	0017	0011	0103	0007	010894	730
71,5	02:44:48	13	1936	0092	1898	0078	0491	1317	1176	22	0088	2414	0093	0008	0046	0008	0078	0003	0017	0011	0101	0004	012998	7817
78,8	02:52:08	14	1165	0032	1985	007	045	1137	1187	217	0084	2308	0082	0005	0042	0004	0074	0003	0013	0011	0008	0002	015208	8238
98,0	03:11:50	51	0779	2053	0955	0156	0429	1521	1183	219	009	0037	0171	0013	0062	0006	0079	0003	0002	0011	0103	0008	032198	3229
116,4	03:20:41	52	177	3012	8184	0183	045	154	1168	22	0089	0037	0203	0012	007	0007	0081	0003	0011	0102	0012	014108	0726	
131	03:44:22	52	177	3012	8184	0183	045	154	1168	22	0089	0037	0203	0012	007	0007	0081	0003	0011	0102	0012	014108	0726	
250,9	05:53:13	01	103	2867	8409	018	04	1558	1171	216	0087	0037	0203	0008	0064	0006	0078	0003	0002	0011	01	0006	013	98,0594
261,6	05:54:58	92	190	2838	8334	0183	0426	1546	1179	217	0089	0037	02	0009	0011	0004	0079	0003	0003	0011	01	0006	012695	0633
264,1	05:57:25	03	104	2017	8455	0184	0436	1556	1178	216	0090	0037	0203	0008	0064	0006	0078	0003	0002	0011	01	0006	012998	0417

Рис. 6. Фрагменты отчета о плавке

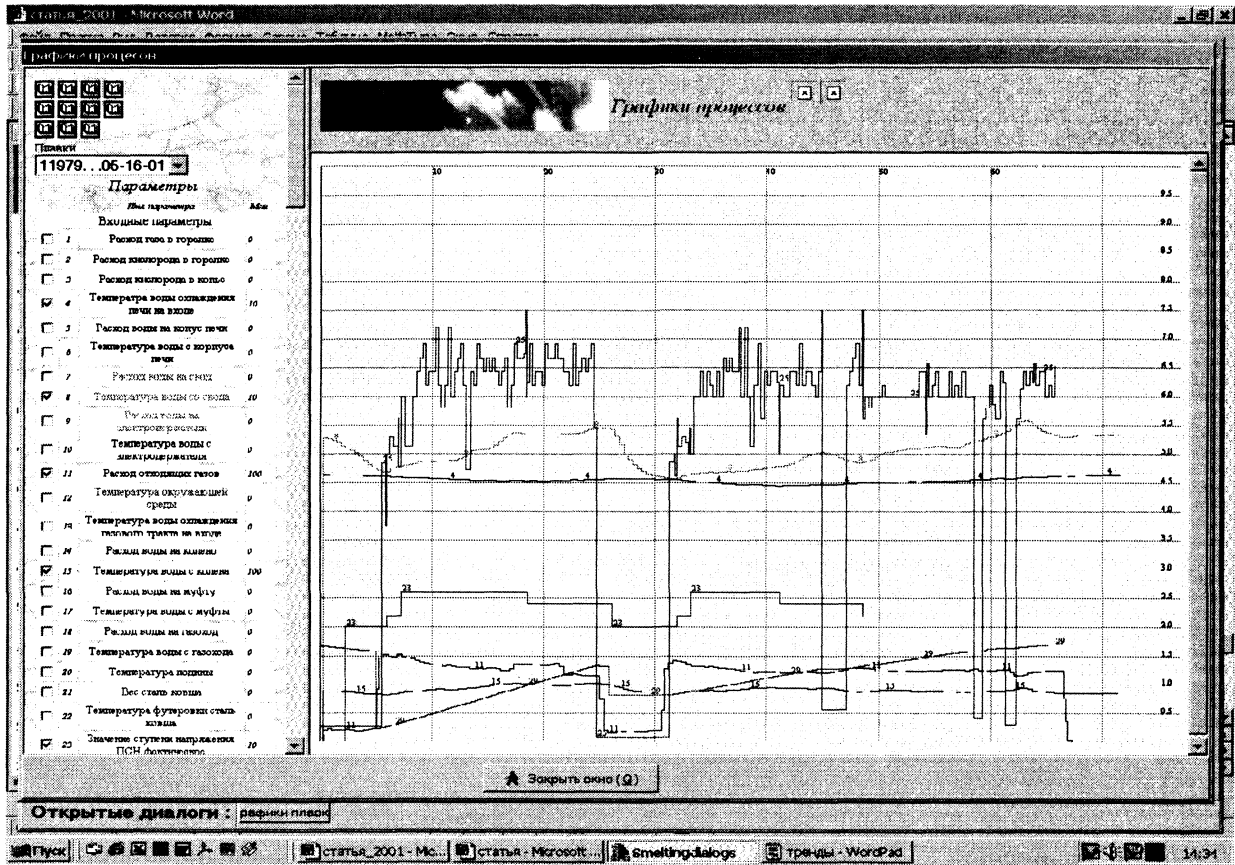


Рис. 7. Окно трендов измеряемых и расчетных величин

Оборудование

Непосредственно для АСУ ТП ДСП «Оракул» необходимо следующее оборудование:

НАЗВАНИЕ	НАЗНАЧЕНИЕ	СОСТАВ
Сервер базы данных ДСП-1 Установлен в машинном зале ЭВМ	Хранение всех данных о работе ДСП-1, в том числе и справочников. WEB сервер ДСП-1 для выдачи отчетов в сети интранет БМЗ	Server P-III 700; 1GB RAM; 2*18GB SCSI HDD; 45 GB IDE HDD
Сервер УСО Установлен в машинном зале ЭВМ	Обмен данными с 1-го уровня ДСП-1	P-II 400; 128 MB RAM; 8 GB IDE HDD, УСО для связи с ДСП-1
Сервер приложений Установлен в машинном зале ЭВМ	Работа ПО системы	Server P-III 500; 128 MB RAM; 8 GB IDE HDD
Рабочая станция Установлена на ПУ ДСП1	Визуализация проекта технологического процесса, тренды, отчеты	Промышленный компьютер P-III 500; 128 MB RAM; 8 GB IDE HDD
Рабочая станция Установлена на ПУ ДСП1	Визуализации процессов плавки, диалоги и отчеты о работе печи	Промышленный компьютер P-III 500; 128 MB RAM; 8 GB IDE HDD

К системе можно подключать имеющиеся у технологического персонала ЭСПЦ и завода РС для наблюдения за работой ДСП1 и получения отчетов. На ПУ ДСП можно установить одну

рабочую станцию с переключением на экране необходимых окон. Конфигурация технических средств приведена на рис. 8.

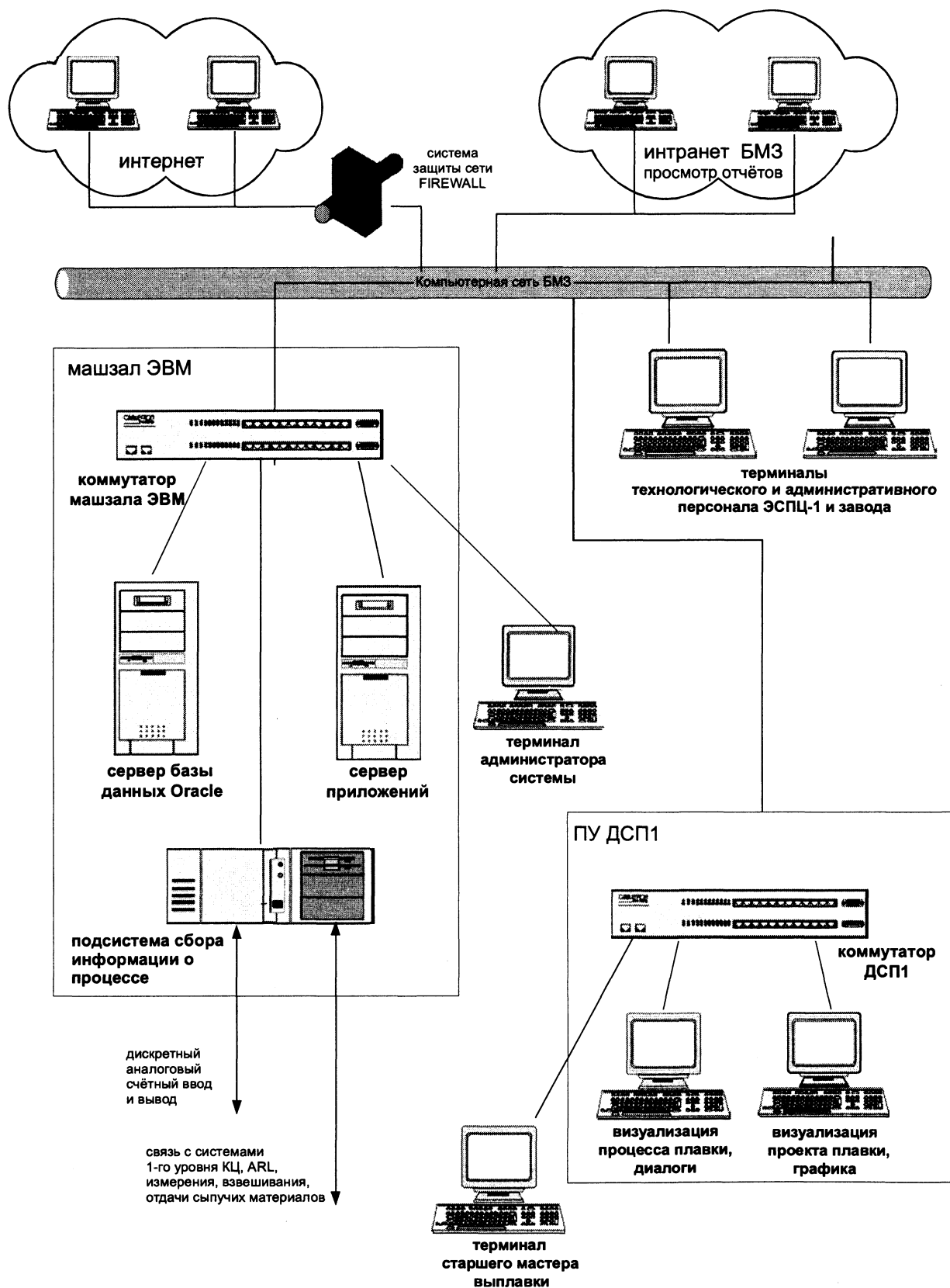


Рис. 8. Конфигурация оборудования системы

Линии связи

Связь с системами 1-го уровня осуществляется по линиям RS232 (токовая петля). Протоколы COMPAС, COMPAС-11, STI. Передаваемые данные указаны на рис. 2.

Для связи с цеховой системой (3-й уровень)

используется сеть Ethernet с протоколом TCP/IP.

Система получает из 3-го уровня плановые данные, некоторую нормативно-справочную информацию, передает данные о текущем процессе плавки и подробные данные о закончившейся плавке.