



# **ОТЧЕТ**

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ АУДИТ**

Разработка и внедрение программного обеспечения  
на базе моделей пакета ОРАКУЛ  
для системы АСУТП выплавки стали на ДСП-2

Ответственный исполнитель

Храпко С.А.

Рыбница 2001 г.

**СОДЕРЖАНИЕ**

Группа разработчиков.....	4
1. Цели и задачи технологического аудита.....	5
1.1. Постановка задачи .....	5
1.2. Предлагаемая методика оценки эффективности работы системы ОРАКУЛ.....	5
2. Описание выполненных работ .....	7
2.1. Возможности внедренных модулей системы ОРАКУЛ.....	7
2.1.1. Прогноз химического состава металла и шлака.....	7
2.1.2. Прогноз температуры металла.....	9
2.1.3. Проектирование хода процесса выплавки стали .....	10
2.1.4. Автоматическое управление механизмами и устройствами .....	13
2.1.5. Создание и редактирование первичных шаблонов плавки .....	14
2.1.6. Информационное сопровождение процесса выплавки стали.....	15
2.1.7. Аппаратные и программные средства построения системы ОРАКУЛ.....	15
2.2. Оценка эффективности работы системы ОРАКУЛ.....	16
2.2.1.1. Анализ данных по плавкам за период январь – февраль 2001 г.....	17
2.2.1.2. Анализ данных по плавкам за период ОПЭ системы ОРАКУЛ.....	18
2.2.1.3. Сравнительный анализ данных.....	18
2.2.1.4. Анализ температуры металла на выпуске .....	20
2.2.1.5. Стойкость элементов печи .....	20
3. Анализ существующей технологии производства стали и системы автоматизации ..	22
3.1. Подготовка шихтовых материалов.....	22
3.2. Выплавка стали .....	23
3.3. Внепечная обработка .....	26
3.4. Разливка.....	28
4. Состояние информационной системы АСУТП ЭСПЦ.....	30
4.1. Упрощенная схема информационных потоков АСУТП ЭСПЦ .....	30
4.2. Взаимодействие с системами планирования и управления производством .....	32
4.3. Место системы ОРАКУЛ в существующей АСУТП .....	33
5. Перспективы развития системы ОРАКУЛ и АСУТП ЭСПЦ .....	36
5.1. Проблемные вопросы и направления развития технологии и АСУТП в ЭСПЦ....	36
5.1.1. Оптимизация режимов работы вспомогательного оборудования.....	36
5.1.1.1. Газокислородные горелки.....	36
5.1.1.2. Устройства кислородной продувки .....	37
5.1.1.3. Устройства донной продувки.....	37
5.1.1.4. Учет режима работы газоочистки.....	38
5.1.1.5. Механизм наклона печи.....	38
5.1.2. Оптимизация шихтовки плавки .....	38
5.1.3. Оптимизация энерготехнологического режима .....	39
5.1.3.1. Сравнительная характеристика регуляторов.....	40
5.1.3.2. Создание собственного регулятора .....	43
5.1.4. Модернизация АСУТП ОКПЛ .....	43
5.1.5. Аппаратное обеспечение развития системы ОРАКУЛ на ДСП-2 .....	43
5.1.6. Система взвешивания печи .....	46
5.1.7. Самообучающаяся система ведения плавки.....	47
5.1.8. Система учета и управления разогревом ковшей.....	47
5.1.9. Внепечная обработка: легирование на сливе и обработка на установке печь-ковш .....	48
5.1.10. Тепловая модель МНЛЗ .....	51
5.1.11. Прогноз и управление составом неметаллических включений.....	52
5.1.12. Система ситуационного управления .....	53

5.1.12.1. Параметры слежения, используемые системой ситуационного управления .....	53
5.1.12.2. Оперативная оптимизация электрического и шлакового режима .....	54
5.1.12.3. Оптимизация моментов подвалок .....	54
5.1.13. Расчет потребностей производства .....	54
5.1.14. Оптимизация загрузки агрегатов цеха .....	55
5.1.15. Режим «что-если» .....	55
6. Организационные аспекты совершенствования системы .....	57
7. Заключение .....	59

## Группа разработчиков

Пакет ОРАКУЛ, версия 3.01Q

Научный руководитель проекта	Пономаренко А.Г.
Ответственный исполнитель	Храпко С.А.
Прогноз химического состава	Храпко С.А., <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Иноземцева Е.Н.</span>
Тепловая модель	Скрябин В.Г.
Проектирование плавки	Старосоцкий А.В., Синяков Р.В.
Мониторинг ТП	Самборский М.В.
Статистический анализ и web	Голубцов А.Н.
Программирование	Старосоцкий А.В., Храпко С.А.

© Группа ОРАКУЛ, 1989-2001. Все права защищены.

## 1. Цели и задачи технологического аудита

### 1.1. Постановка задачи

Технологический аудит проведен для анализа принятых на ММЗ технологических приемов и технических решений в области построения систем АСУТП электросталеплавильного производства, а так же выработки на его основе рекомендаций и предложений по дальнейшему их совершенствованию и развитию. Основные направления технологического аудита:

- разработка рекомендаций по совершенствованию АСУТП ДСП-2 на основе пакета программ ОРАКУЛ;
- оценка перспективы создания системы оптимального управления процессами внепечной обработки стали;
- выдача рекомендаций по совершенствованию и развитию комплексной АСУТП ЭСПЦ с применением в ней системы ОРАКУЛ;
- оценка возможности использования системы ОРАКУЛ в системах управления и планирования электросталеплавильного производства.

Технологический аудит завершает работы по внедрению системы ОРАКУЛ в АСУТП ДСП-2, является отчетом о проделанной работе и содержит мнение разработчиков об эффективности выполненных работ.

### 1.2. Предлагаемая методика оценки эффективности работы системы ОРАКУЛ

Оценка экономической эффективности работ проводится путем сравнения показателей работы печи в период испытаний с показателями работы печи за 3 месяца, предшествующих испытаниям.

Накопление массива плавов, проведенных в автоматическом режиме, проводится с момента ввода в эксплуатацию автоматического управления отдачей сыпучих материалов, регулятором и газо-кислородными горелками. Плавками, проведенными в автоматическом режиме, считаются такие, где на протяжении всей плавки не было ручного управления (или управления от существующей системы второго уровня) указанными выше механизмами и устройствами.

Выборки содержат:

- заголовочную информацию (номер плавки, технологической карты и приложения);
- расход шлакообразующих и вспенивающих материалов за плавку (известь, известняк, магнезит, кокс, коксик);
- расход электроэнергии (общий на плавку и удельный на тонну годного);
- вес скрапа и вес годного металла;
- длительность плавки и длительность работы под током;
- длительность отстоя плавки и температура металла при поступлении на печь-ковш.

Обработка массивов проводится по следующей схеме:

1. Исключаются заведомо недостоверные данные. Критерии отсева данных:

- плавки с длительностью под током менее 35 и более 70 минут;
- плавки с удельным расходом электроэнергии менее 320 и более 550 кВтч/т годного;
- плавки, проведенные с отклонениями от требований ТК и НТД.

2. Массив обрабатывается стандартными статистическими методами, с расчетом средних значений показателей.

3. Сравниваются полученные значения по двум массивам (плавки, проведенные в автоматическом режиме и плавки, проведенные в ручном режиме).

Сравнение расчетных и фактических значений химического состава и температуры металла проводится по массиву плавков за период испытаний работы системы. Отсев плавков осуществляется по аналогичной методике.

## 2. Описание выполненных работ

### 2.1. Возможности внедренных модулей системы ОРАКУЛ

Модули системы ОРАКУЛ, внедренные в состав АСУТП ДСП-2, осуществляют:

- прогноз химического состава металла и шлака по ходу плавки;
- прогноз средней температуры металла по ходу плавки;
- проектирование хода процесса выплавки стали и работы механизмов и устройств печи;
- автоматическое управление трактом отдачи сыпучих материалов в ДСП-2;
- автоматическое управление стеновыми газо-кислородными горелками;
- автоматическое управление регулятором Siemelt (ведение электрического режима плавки);
- автоматическое управление установкой Stein;
- информационное сопровождение процесса выплавки стали;
- создание и редактирование первичных шаблонов плавки.

В качестве демо-версии реализован упрощенный вариант модуля расчета вида и количества легирующих материалов на сливе.

#### 2.1.1. Прогноз химического состава металла и шлака

Исходными данными для модуля прогноза химического состава металла и шлака являются:

- информация о количестве и видах шихтовых материалов;
- информация о количестве и составе «болота» металла и шлака, оставшихся с предыдущей плавки;
- текущая информация о количествах и видах вводимых энергоносителей, кислорода и сыпучих материалов;
- расчетная средняя температура металла и шлака;
- расчетная масса жидкого металла и нерасплавленного лома в печи.

В качестве иллюстрации прогнозных возможностей системы в таблице 1 приведены результаты сравнения расчетных и фактических содержаний химических элементов на последних плавках 215928-215990 (26-28 сентября 2001 г.) а также величины средних погрешностей прогноза на этих плавках.

Таблица 1. Сравнение расчетных и фактических содержаний элементов, %.

Элемент	Si	Mn	C	P	S	N	Cr	Ni	Co	Cu
Факт-расчет	0.003	0.013	-0.003	0.003	0.003	0.000	0.005	0.033	0.001	0.008
Погрешность	0.013	0.021	0.017	0.006	0.013	0.003	0.015	0.049	0.001	0.038

В строке «Факт-расчет» приведена систематическая ошибка расчета, а в строке «Погрешность» – случайная ошибка. Незначительная величина систематической ошибки (0.003-0.008 % по основным элементам) показывает хорошее соответствие фактического среднего состава лома и данных, используемых в системе ОРАКУЛ.

Приведенные в графе «Погрешность» данные характеризуют, в основном, точность расчета химического состава металла на первой пробе, поскольку количество плавов с числом проб металла более 1 очень незначительно. Полученные результаты (0.003-0.017 %) свидетельствует о достаточно высокой прогностической возможности системы ОРАКУЛ. Исключение составляют Mn (попадание чугуна или легированного лома в стальной) и, особенно, Ni (попадание отходов нержавеющей или легированной стали) и Cu (попадание медной проволоки), хотя и по этим элементам погрешность расчета составляет 0.021-0.049 %. Необходимо отметить, что высокая точность прогноза первой пробы показывает стабильность технологии переработки и хранения лома, принятой на ОКПЛ ММЗ.

Тем не менее, в отдельных случаях наблюдаются значительные расхождения расчетного и фактического состава металла. Последующий анализ показал, что в большинстве таких случаев ошибка возникала из-за непреднамеренных ошибок ручного ввода вида и/или количества шихтовых материалов, поступающих в печь (например, 10 т кокса или 28 т окислы). Исключение таких плавов или фильтрация недостоверных данных приводит к существенному повышению точности расчета химического состава металла и шлака. Дополнительную погрешность (не фиксируемую в настоящее время) вносит неопределенность места отбора пробы и момента времени, прошедшего от отбора пробы металла до поступления химического анализа в систему. Ошибка в 1-2 минуты (что вполне реально, с учетом времени доставки пробы и ее обработки) может приводить к появлению дополнительной погрешности, например, по углероду в 0.02-0.04 %. Радикальным средством решения этой проблемы является установка автоматического пробоотборника, что, однако, требует существенных затрат.



Необходимо отметить, что в любом случае приведенная точность является вполне достаточной для работы системы проектирования и управления ходом технологического процесса.

Дополнительными факторами, влияющими на погрешность расчета являются:

- недостоверность информации о массе отдельных видов лома в корзине;
- точность взвешивания металла в ковше (влияет на расчет массы «болота»);
- отсутствие информации о скачивании шлака.

Система ОРАКУЛ оснащена модулем автоматической адаптации алгоритмов, который отслеживает медленные изменения параметров технологического процесса (например, связанные с изменением футеровки в течение кампании, сезонные изменения, изменения химического состава лома и т.п.) и корректирует настроечные коэффициенты моделей.

Для обеспечения более эффективного самообучения и подстройки системы ОРАКУЛ к изменяющимся условиям желателен периодический отбор проб шлака и автоматизированный ввод их химического состава в систему.

### **2.1.2. Прогноз температуры металла.**

Задачу прогноза температуры решает модуль расчета температуры (МРТ).

Используемая для расчетов информация:

- количество и виды поступивших в печь энергии и материалов;
- измеренная температура металла (если замеры осуществлялись);

В настоящее время в расчете не учитывается информация о температуре отходящих газов, производительности дымососа и температуре охлаждающей воды, т.к. она не является достоверной, а потому ухудшает точность расчета. Частые сбои в работе весов на сливе не позволили в полном объеме использовать информацию о массе жидкого остатка стали и шлака.

Тепловая модель снабжена механизмом подстройки по замерам температуры и фильтрацией недостоверных замеров а также недостоверной исходной или текущей информации. Наиболее существенно влияют следующие параметры:

- несоответствие информационной и фактической массы лома в бадье (разность на 1 т изменяет расчетную температуру примерно на 10 °С);
- грубые ошибки в массе кокса и окалины в первой бадье;

- недостоверность отдельных замеров температуры из-за плохого качества сборки термпарного устройства или температурной неоднородности ванны жидкого металла.

В случае изменения химического состава отдельных видов лома, влияющего на удельную теплоту плавления, а также при изменении других условий (например, температуры окружающей среды), автоматически производится плавная подстройка МРТ.

В качестве демо-версии в состав тепловой модели включен упрощенный блок расчета температуры металла в сталь-ковше.

В результате обработки массива плавов установлено, что температурная неоднородность ванны в ДСП-2 может достигать 75 °С (при полностью расплавленном ломе). Количество плавов с отклонением значений температуры металла по результатам первого замера от средней расчетной температуры ванны более чем на 8 °С составляет 45 %. На момент последнего замера температуры, количество аналогичных отклонений составило 10 %.

Точность работы тепловой модели обеспечивает работоспособность модуля прогноза состава металла и шлака и модуля проектирования плавки. В случае достоверности информации о массе и составе лома результаты расчета позволяют выпускать плавку без замера температуры. В то же время разница «информационной» и фактической массы лома на некоторых плавках превышает 10 т. Погрешность расчета температуры на таких плавках может превышать 50 °С в момент первого замера температуры.

Замеры температуры металла являются единственной обратной связью МРТ с печью, по которой ведется адаптация расчетной температуры и самонастройка модели. Дальнейшее повышение точности прогноза температуры возможно при обеспечении большей достоверности входной информации, особенно о массе и видах лома. Желательно, чтобы абсолютная погрешность массы металлозавалки не превышала 500 кг, что соответствует относительной погрешности 0,3 %. Уменьшить влияние человеческого фактора на достоверность подобной информации может модернизация АРМ «ОКПЛ» (п. 5.1.4) и создание системы взвешивания печи (п. 5.1.6).

### **2.1.3. Проектирование хода процесса выплавки стали**

Задание для проектирования хода плавки содержится в технологической карте. Основные элементы задания на плавку:

- целевой химический состав;
- требуемая температура стали на выпуске;
- доступные для ведения плавки материалы, энергоносители, механизмы и устройства (рис. 1);
- ограничения техники безопасности и принятой технологии по использованию материалов, механизмов и устройств (рис. 2).

Проектирование плавки осуществляется каждые 5 секунд от момента получения задания на плавку до окончания слива с учетом информации о фактическом ходе процесса. Результатом каждого расчета является (от текущего момента до окончания плавки):

- график отдачи сыпучих материалов;
- график ввода энергоносителей;
- время подвалок, начала рафинирования и слива металла;
- график изменения средней температуры металла;
- график плавления лома, образования и схода шлака;
- график изменения химического состава металла и шлака;
- график изменения стоимости плавки;
- расчетная длительность и себестоимость плавки.

На основании перечисленных выше графиков осуществляется выдача управляющих воздействий механизмам и устройствам, участвующим в ходе плавки. Проект выдает уставки всем механизмам и устройствам ДСП-2, включая, например, механизм наклона печи. Воспринимать же уставки системы проектирования в настоящее время способны:

- тракт сыпучих материалов ДСП-2;
- установка Stein;
- стеновые горелки ДСП-2;
- регулятор Simelt;

**ДСП-2: Редактор устройств печи.** 12:00:50 04.06.2001

Плавка: 213490    Тех. карта: 3    Приложение: 15    Угл. экв. max: -    Угл. экв. min: -

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Co	N	B	Al	Mo	As	Bi	Sn	Ti	Pb	Sb	Cu	V
Требования min	-	0.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
НТД max	0.08	0.40	0.10	0.04	0.05	-	-	0.60	-	-	-	0.05	0.08	0.01	0.05	-	0.02	0.05	0.00	0.04
Допуски min	-	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
в прокате max	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Рекомендуемый min	0.04	0.26	0.05	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
состав max	0.07	0.39	0.09	0.03	0.01	-	-	0.29	-	0.00	-	0.05	0.08	0.01	0.05	-	0.02	0.05	0.00	0.04
Цель	0.06	0.37	0.07	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Углерод, эквив.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Рекомендуемая температура металла (гр. С)

С донной продувкой	Без донной продувки	В сталковше перед разливкой
Доводка на УДС	Доводка на КП	Первая в серии
Последующие		
1590 - 1650	1590 - 1650	1600 - 1660
1620 - 1650	1600 - 1620	1595 - 1615

Порядковый номер	1	2	3	4	5	6
Код в БД	21000000	21010000	21010100	21010400	21060000	21400200
Наименование	Печь 2	Транс-р 85	П2 Г-1-3-5	П2 Г-2-4-6	П2 Палмур	Stein C
Вещество	Время	Эл.энергия	CH4	CH4	O2	Кокс печн
Интенсивность max	1.00 у.о.е./с	17.60 у.о.е./с	0.50 у.о.е./с	0.00 у.о.е./с	0.70 у.о.е./с	1.00 у.о.е./с
Интенсивность min	1.00 у.о.е./с	0.00 у.о.е./с	0.00 у.о.е./с	0.00 у.о.е./с	0.00 у.о.е./с	0.00 у.о.е./с
Порция max	1.00 у.о.е.	23.50 у.о.е.	1.00 у.о.е.	0.00 у.о.е.	5.00 у.о.е.	1.00 у.о.е.
Порция min	1.00 у.о.е.	0.00 у.о.е.	0.00 у.о.е.	0.00 у.о.е.	0.00 у.о.е.	0.00 у.о.е.
Порция оптимальная	1.00 у.о.е.	19.00 у.о.е.	1.00 у.о.е.	0.00 у.о.е.	5.00 у.о.е.	1.00 у.о.е.
Температ. включения	0.00 гр. С	0.00 гр. С	0.00 гр. С	50.00 гр. С	50.00 гр. С	1100.00 гр. С
Темпер. выключения	1620.00 гр. С	1800.00 гр. С	1800.00 гр. С	1650.00 гр. С	1750.00 гр. С	1500.00 гр. С
Перемешив. эффект	0.01 у.е.	0.03 у.е.	2.00 у.е.	1.00 у.е.	0.75 у.е.	0.20 у.е.
В работе?	Использовать	Использовать	Использовать	Использовать	Использовать	Использовать
Для сыпучих?	Не сыпучи	Не сыпучи	Не сыпучи	Не сыпучи	Не сыпучи	Не сыпучи
КПД	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	1.00
МАХ на кг жидкой	100000.00	1000000.00	1000000.00	190000.00	1000000.00	1000000.00
Способность ввода N2	0.000100	0.000400	0.000000	0.000000	0.003000	0.000000

Рисунок 1. Окно визуализации «ДСП-2: Редактор устройств печи»

**ДСП 2 : Редактор шаблона плавки** 20:14:46

Плавка: 700000    Техкарта: 3    Приложен.: 15    Корзин: 3    Подпериодов: 7    Устройства: 25

Болото	Темпер.	C	Mn	SI	P	S	Cr	Ni	Co	N	B	Mo	As	Nb	Sn	Ti	Pb	Cu	Sb	Cu	V
0 гр С	1 т	0.027	0.037	0.001	0.020	0.064	0.037	0.132	0.217	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Вес	CaO	MgO	FeO	Fe2O3	MnO	SiO2	P2O5	S	CrO	NiO	CoO	N	B2O3	MoO2	As2O3	Nb2O5	SnO	Ti2O3	PbO	CuO	Sb2O3	CuO	V2O5
0.0	13.064	2.102	67.723	0.660	3.635	10.593	0.353	0.155	0.682	0.020	0.033	0.000	0.007	1.041	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000

Завалка	Корзина 1	Подвалка 1	Корзина 2	Подвалка 2	Последняя	Рафинирование	Слив
Температура	0.00	300.00	600.00	750.00	1000.00	1050.00	1200.00

Устройство	Вещество	1	2	3	4	5	6	7
Печь 2	Время	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
П2 Д2 В/м2	CaO кус	0.00	0.00	4.20	4.20	0.00	0.00	0.00
П2 Д2 В/м3	CaCO3 Тр	0.00	0.00	1.37	1.37	0.00	0.00	0.00
Simelt AC	Кривая	2.00	3.00	3.00	6.00	6.00	7.00	0.00

Итого: 56.8 т

Виды лома: Пакеты (24.9 т), Кокс ореш (0.9 т), Лом г (30.0 т), Окалина (1.0 т), (0.0 т), (0.0 т), (0.0 т)

Итого: 56.8 т

ORACUL/templates

- def2k.tpl
- def3k.tpl
- def4k.tpl
- tk3pr15b2.tpl
- tk3pr15b3.tpl
- tk3pr15b4.tpl
- tk5pr2b2.tpl
- tk5pr2b3.tpl
- tk5pr2b4.tpl
- tk7b2.tpl
- tk7b3.tpl
- tk7pr26b2.tpl

Открыть / Открыть текущий

Рисунок 2. Окно визуализации «ДСП-2: Редактор шаблона плавки»

В случае необходимости режим управления (источник управляющих воздействий) любого из перечисленных механизмов и устройств может быть изменен в любой момент плавки технологическим персоналом или представителем АСУТП ММЗ. Более того, программистами ОАСУТП разработана и внедрена система «горячего резервирования», позволяющая в аварийных ситуациях автоматически изменить источник управляющих воздействий для регулятора и стеновых горелок (ОРАКУЛ или существующая система второго уровня АСУТП ДСП-2). Это же программное обеспечение позволяет в случае сбоя системы проектирования вести плавку по результатам последнего расчета до восстановления работоспособности модуля проектирования.

В качестве обратной связи в системе ОРАКУЛ используется не информация о выполнении рассчитанных уставок, а информация о фактическом поступлении в печь материалов и энергоносителей. Это, например, позволяет системе в большинстве случаев успешно завершить плавку, проводимую первоначально в ручном режиме. Модуль проектирования адекватно реагирует на большинство «незапланированных» событий.

#### **2.1.4. Автоматическое управление механизмами и устройствами**

Автоматическое управление механизмами и устройствами обеспечено, прежде всего, за счет интеграции системы ОРАКУЛ в комплексную АСУТП «ДСП-2».

Автоматическое управление трактом сыпучих подразумевает своевременную отдачу шлакообразующих и вспенивающих материалов, которое в итоге должно обеспечить:

- достижение целевого химического состава при рациональных затратах времени, шихтовых материалов, энерго- и других ресурсов;
- создание щадящего режима для элементов печи;
- рациональные условия горения и закрытия дуг;
- соблюдение требований технической и экологической безопасности.

АСУТП «ДСП-2» автоматически управляет:

- включением и выключением вибропитателей и ленточных конвейеров;
- открытием и закрытием дозаторов;
- переводом распределительного устройства и «поворотной точки».

Отдачей мощности трансформатора в печь управляет регулятор, для чего АСУТП «ДСП-2» передает ему соответствующие уставки, характеризующие

необходимое сопротивление дуг. По существу, АСУТП «ДСП-2» задает электрический режим, но не имеет возможности влиять на точность и качество его исполнения (подробнее см. п. 5.1.3.1, 5.1.3.2).

Управление стеновыми горелками заключается в выдаче в любой момент плавки уставки расхода кислорода и газа. Эффективность использования стеновых горелок зависит прежде всего от точности расчета уровня шихты в печи относительно плоскости факелов. На данном этапе предельно возможная оптимизация режима работы горелок не достигнута (см. п. 5.1.1), а основным критерием изменения режима работы горелок является расчетная средняя температура лома в печи.

Управление установкой Stein заключается в выдаче уставок интенсивности вдувания коксика по каждому инжектору. Непосредственное управление установкой осуществляется контроллером. Коксик применяется прежде всего для вспенивания шлака и закрытия дуги. Анализ проведенных во время ОПЭ плавки показал, что с этими задачами успешно справляется система автоматического управления трактом сыпучих. На большинстве плавки, проведенных в автоматическом режиме, установка Stein не использовалась или мало использовалась даже тогда, когда моменты включения и выключения Stein определял не ОРАКУЛ, а сталевар. Это не означает, что предлагается отказаться от автоматического управления вдуванием коксика, но добиться оптимального использования установки можно после внедрения системы ситуационного управления (см. п. 5.1.12) на основе оперативного анализа гармонических составляющих тока. Достигнутое существенное снижение расхода коксика (табл. 9) оправдано его высокой стоимостью, причем негативных побочных явлений в результате этого снижения не замечено.

### **2.1.5. Создание и редактирование первичных шаблонов плавки**

Первичный шаблон плавки в условиях ММЗ предназначен для формализации принципов использования основного и вспомогательного оборудования сталеплавильного агрегата, описанных в технологической карте.

В процессе работы были созданы так называемые «Редактор хода плавки» и «Редактор шаблона плавки». Это программное обеспечение позволяет технологическому персоналу «подсказать или заставить» ОРАКУЛ вести конкретную плавку или все плавки той или иной марки стали по описанной технологии. Фактически, это инструмент, позволяющий описать различные варианты ведения плавки и использования материалов, механизмов и устройств.

Предоставляется так же возможность автоматически создать первичный шаблон на основании проведенной ранее «хорошей» плавки, независимо от того, проведена ли была она ОРАКУЛом или сталеваром. Созданный таким образом шаблон в дальнейшем может быть отредактирован с помощью «Редактора шаблона».

Описанное выше программное обеспечение позволяет в дальнейшем реализовать механизм самообучения (см. п. 5.1.7) и режим «что - если» (см. п. 5.1.15).

Программный продукт создан вне рамок обязательств группы ОРАКУЛ перед ММЗ, а потому передается заказчику по принципу «как есть». Его доработка и модернизация будет необходима в случае дальнейшего развития системы.

### **2.1.6. Информационное сопровождение процесса выплавки стали**

Система ОРАКУЛ во взаимодействии с АСУТП «ДСП-2», АСУТП «Доза-2», АСУТП «Газоочистка», АРМ «ОКПЛ» и технологической базой данных ЭСПЦ осуществляет сбор информации о ходе процесса выплавки стали и состоянии механизмов и устройств, участвующих в нем. Проводится нормализация данных и фильтрация заведомо недостоверной информации, результаты которой и служат в дальнейшем для расчетов. Вся собранная информация, результаты фильтрации и нормализации, а так же результаты расчетов документируются с интервалом в 5 секунд. В настоящее время документированию подлежат порядка 900 параметров, начиная от вида и количества материалов и заканчивая гармоническими составляющими напряжения и тока дуги. Пакет программ системы ОРАКУЛ позволяет осуществить отображение на экране всех параметров оперативными и историческими графиками и таблицами, а также вывод их на печать.

Принципиальная особенность предлагаемой системы визуализации – наглядность отображения влияния различных параметров друг на друга.

### **2.1.7. Аппаратные и программные средства построения системы ОРАКУЛ**

Требования системы ОРАКУЛ к аппаратному и программному обеспечению представлены в прилагаемом «Руководстве пользователя». В настоящее время используется компьютер следующей комплектации:

1. Корпус промышленного исполнения IPC 6908.
2. Процессор P-II 350.
3. «Офисный» 17” монитор HP-75.
4. HDD FUJITSU MPB3032A 3,2Gb.
5. 3.5” FDD.

6. Плата 100Mbit Ethernet SMC 83C170.
7. Видеоплата ATI 3D Rage 4Mb.
8. «Офисная» клавиатура 104 key Mitsumi.
9. «Офисная» мышь Microsoft PS/2.

Предоставленные аппаратные средства способны обеспечить текущие потребности ОРАКУЛа, но недостаточны для развития системы. Кроме того вызывает сомнение возможность данного оборудования обеспечить длительную безотказную работу системы в условиях пультовой ДСП-2. Ограниченное дисковое пространство не позволяет обеспечить надежное и длительное хранение информации о ранее проведенных плавках, а значит и их последующий анализ. Спецификация предлагаемых к использованию аппаратных средств и ее обоснование представлены в п. 5.1.5.

При разработке и исполнении системы ОРАКУЛ использовано хорошо себя зарекомендовавшее лицензионное программное обеспечение, предоставленное АСУТП ММЗ. Дальнейшее развитие системы ОРАКУЛ рекомендуется осуществить на этой же основе.

## **2.2. Оценка эффективности работы системы ОРАКУЛ**

Интегрированные в комплекс АСУТП «ДСП-2» модули системы ОРАКУЛ показали свою работоспособность. Требования технического задания и Договора выполнены в полном объеме.

Объективную и достоверную оценку экономической эффективности работы системы ОРАКУЛ могут дать только специалисты ММЗ, для чего предлагается применить методику, описанную в п. 1.2.

Разработчики ОРАКУЛа провели и самостоятельный анализ работы системы, результаты которого приведены ниже.

Следует учесть следующие организационные особенности проведения ОПЭ:

- недостаток лома и ухудшение его качества;
- настройка электрического режима специалистами ММЗ при выдаче уставок регулятору Siemens от существующей системы второго уровня;
- передача управления электрическим режимом регулятору AEG, который не способен воспринимать внешние управляющие воздействия;



- отработка технологии выпечки и разлива стали, выплавляемой по технологической карте 7 и недостаточное количество стали-ковшей для такой стали.

Это не позволило накопить «представительный массив плавов», полностью проведенных в автоматическом режиме (одновременное управление трактом отдачи сыпучих материалов, стеновыми газо-кислородными горелками, регулятором и установкой Stein), а потому для статистической обработки отбирались плавки, полностью проведенные в автоматическом режиме по дозированию материалов без учета режима управления регулятором, горелками и Stein. По предложению технического отдела, выполнен сравнительный анализ показателей плавов, проведенных за период ОПЭ и за период январь-февраль 2001 г., когда была достигнута наилучшая производительность ДСП-2.

### 2.2.1.1. Анализ данных по плавкам за период январь – февраль 2001 г.

Для анализа показателей плавов подготовлена выборка из технологической базы данных ОАСУТП ММЗ. В выборку вошло 1340 последовательных плавов (№№ 210001 - 211340) за период с 01.01 по 01.03 2001 г.

После предварительной фильтрации общий массив составил 1160 плавов.

Таблица 2. Средние значения основных показателей плавов.

Скрап, т	Время под током, мин	Годного, т	Расход электроэнергии на	
			плавку, МВтч	тонну годного, кВтч/т
137,0	47,8	122,1	48,2	395,4

Таблица 3. Средние значения показателей плавов по группам марок стали.

ТК	Кол-во	Скрап, т	Ток, мин	Годн, т	МВтч	кВтч/т	МВтч/мин
3	273	137,8	48,6	122,2	49,0	402,8	1,01
5	511	137,6	47,3	122,0	47,6	390,9	1,01
6	368	135,5	47,6	122,3	47,9	392,8	1,01
7	14	134,3	56,3	117,2	57,3	490,3	1,03

Таблица 4. Средние количества отдаваемых за плавку сыпучих материалов, кг.

ТК	СаО	СаСО <sub>3</sub>	Кокс мел	Кокс пор
3	3705	1089	293	653
5	3838	819	336	545
6	3926	911	310	542
7	7318	3777	0	0

### 2.2.1.2. Анализ данных по плавкам за период ОПЭ системы ОРАКУЛ

После фильтрации в выборку вошло 342 плавки за период с 22.08 по 22.09.2001 г. Основной критерий добавления в выборку той или иной плавки – работа в автоматическом режиме управления системой дозирования сыпучих материалов в ДСП-2 на протяжении всей плавки. Плавки, на которых проводилось переключение в ручной режим по дозированию материалов, исключались.

Таблица 5. Средние значения основных показателей плавки.

Скрап, т	Время под током, мин	Годного, т	Расход электроэнергии на	
			плавку, МВтч	тонну годного, кВтч/т
137,0	49,0	125,2	49,0	391,6

Таблица 6. Средние значения показателей плавки по группам марок стали.

ТК	Кол-во	Скрап, т	Ток, мин	Годн, т	МВтч	кВтч/т	МВтч/мин
3	125	137	49,3	123,4	49,4	401,0	1,00
5	120	137	48,9	125,5	48,8	389,5	1,00
6	78	136	49,3	126,7	48,5	383,7	0,98
7	19	141	49,6	126,8	49,3	389,4	0,99

Таблица 7. Средние значения отдаваемых за плавку сыпучих материалов, кг .

ТК	СаО	СаСО <sub>3</sub>	Кокс мел	Кокс пор
3	3204	1137	347	367
5	3175	1238	306	380
6	3286	1191	418	349
7	4952	2504	0	0

### 2.2.1.3. Сравнительный анализ данных

В таблицах приводится сравнительный анализ основных показателей плавки.

Период январь-февраль 2001 г. далее обозначен цифрой 1, а период ОПЭ системы ОРАКУЛ – цифрой 2.

Таблица 8. Сравнительный анализ основных показателей плавки.

Период	ТК	Ток, мин	Годного, т	МВтч	кВтч/т
1	3	48,6	122,2	49,0	402,8
2		49,3	123,4	49,4	401,0
1	5	47,3	122,0	47,6	390,9
2		48,9	125,5	48,8	389,5
1	6	47,6	122,3	47,9	392,8
2		49,3	126,7	48,5	383,7
1	7	56,3	117,2	57,3	490,3
2		49,6	126,8	49,3	389,4

В табл. 8 приводится сравнение основных показателей процесса. В среднем достигнуто увеличение количества годного металла на 1,2 т и снижение удельного расхода электроэнергии на 1,8 кВтч/т.

Выделяется значительное изменение показателей производства высокоуглеродистых марок стали (ТК №7): снижение длительности работы под током на 6,7 мин, увеличение количества годного металла на 9,6 т, снижение удельного расхода электроэнергии на 100 кВтч/т.

Таблица 9. Сравнительный анализ удельного расхода шлакообразующих материалов.

Период	ТК	СаО, кг/т	СаСО <sub>3</sub> , кг/т	Кокс мел, кг/т	Кокс пор, кг/т
1	Все	31.9	7.8	2.5	4.6
2		26.5	10.1	2.6	2.7
1	3	30.5	9.0	2.4	5.4
2		26.2	9.4	2.8	3.0
1	5	31.5	6.9	2.7	4.5
2		25.4	9.9	2.4	3.0
1	6	32.3	7.3	2.5	4.4
2		26.0	9.4	3.3	2.7
1	7	62.1	34.1	0.0	0.1
2		39.1	19.8	0.0	0.0

Таблица 9 показывает снижение удельного расхода извести (в среднем на 5,4 кг/т) и порошкообразного коксика (в среднем на 1,9 кг/т) за счет некоторого увеличения расхода более дешевых материалов – известняка (на 2,3 кг/т) и коксовой мелочи (на 0,1 кг/т). При этом на всех плавках, проведенных в автоматическом режиме, обеспечивался стабильный режим вспенивания шлака и рафинирования металла от фосфора.

Таблица 10. Сравнение качественного состава лома, т скрапа / т годного

Период	ТК	Пакеты	Лом г	Отм. скрап	Скрап ст. пр-ва	Стружка ст.
1	Все	0.201	0.830	0.028	0.015	0.046
2		0.137	0.816	0.042	0.012	0.059
1	3	0.214	0.856	0.008	0.012	0.042
2		0.137	0.844	0.040	0.015	0.071
1	5	0.199	0.828	0.038	0.016	0.048
2		0.142	0.839	0.039	0.011	0.060
1	6	0.202	0.809	0.031	0.017	0.049
2		0.169	0.780	0.058	0.010	0.055

Из табл. 10 видно, что в период ОПЭ системы ОРАКУЛ значительно возросло количество используемого в шихте отмагниченного скрапа и стружки, при

одновременном снижении количества пакетов и габаритного лома. Тем примечательнее достигнутое увеличение выхода годного и снижение удельного расхода электроэнергии.

#### 2.2.1.4. Анализ температуры металла на выпуске

Для рассматриваемых групп марок стали проведен сравнительный анализ зависимости температуры металла по результатам первого замера на агрегате пещ-ковш от длительности отстоя (промежуток времени между окончанием плавки стали в ДСП-2 и началом ее обработки на агрегате ПК).

Из массива исключены данные, где значения температуры металла меньше 1450 или больше 1600 °С и отстой менее 3 минут.

Таблица 11. Сравнительный анализ средних значений длительности отстоя и температуры металла в первом замере на ПК.

Период	ТК	Время, мин	Т на КП, °С
1	Все	33	1537
2		33	1540
1	3	39	1562
2		30	1552
1	5	33	1531
2		38	1537
1	6	30	1533
2		33	1528
1	7	10	1518
2		29	1529

Из табл. 11 видно, что средняя продолжительность «отстоя» плавков в рассматриваемые периоды времени одинакова, а средняя температура в период ОПЭ выше на 3 °С.

#### 2.2.1.5. Стойкость элементов печи

В таблице 12 приведено сравнение средних за рассматриваемые периоды значений стойкости стен печи.

В период январь-февраль 2001 г. было произведено 1340 плавков, средняя стойкость стен составила 807 плавков. Доля плавков с высокой окисленностью металла перед выпуском (выплавляемых по ТК №3) – 19,4 %. В период ОПЭ системы ОРАКУЛ произведено 650 плавков, стойкость стен составила 743 плавки. Доля марок, выплавленных по ТК №3 – 38,8 %.

Таблица 12. Количество плавков и стойкость элементов стен в период январь-февраль 2001 г. (1) и в период ОПЭ системы ОРАКУЛ (2).

Период	ТК	Количество плавков	Стойкость стен печи
1	Все плавки	720	807
2		650	743
1	3 (высокая окисленность)	140 (19,4 %)	
2		250 (38,8 %)	

Для всестороннего анализа стойкости элементов печи пока недостаточно информации.

### **3. Анализ существующей технологии производства стали и системы автоматизации**

Анализ существующей технологии производства стали проведен для определения основных направлений дальнейшего развития и совершенствования систем автоматизации, оптимизации и управления основными этапами в технологической схеме передела металла от ОКПЛ до МНЛЗ. Создание единой системы позволит обеспечить согласованность работы агрегатов, снизить продолжительность незапланированных простоев, повысить качество выпускаемой продукции, увеличить объем производства.

В целом отмечена высокая технологическая культура производства стали в ЭСПЦ ММЗ и соответствие систем автоматизации современным требованиям. Особо следует выделить высокий уровень профессионализма технологического персонала и сотрудников подразделений, занимающихся автоматизацией.

#### **3.1. Подготовка шихтовых материалов**

Работа ОКПЛ организована в целом лучше, чем на других заводах СНГ, технологическая культура которых знакома разработчикам ОРАКУЛа.

Косвенным показателем качества сортировки лома на ОКПЛ может служить содержание меди в готовой стали. Результаты обработки информации о содержании меди в пробах стали на ММЗ в 2001 г. таковы:

- среднее содержание меди в готовой стали - 0.219 % (5806 плавов);
- количество плавов с содержанием меди <0.15 % – 199 (3.2 %);
- количество плавов с содержанием меди >0.30 %– 154 (2.7 %);
- количество плавов с содержанием меди >0.35 %– 36 (0.6 %);
- количество плавов с содержанием меди >0.45 %– 10 (0.17 %);

ОКПЛ оснащен АРМ «Рабочее место шихтовщика», предназначенным для автоматизации процесса взвешивания лома и передачи информации о видах и весе лома в АСУТП «ДСП-2».

Сортировка шихтовых материалов на ОКПЛ ММЗ осуществляется по 20 видам, наименование и состав которых представлен в таблице 13 в том виде, в каком он используется системой ОРАКУЛ.

Таблица 13. Состав шихтовых материалов, используемых на ОКПЛ.

	Mn	Si	Cu	C	P	S	N	Cr	Ni	MnO	MgO	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Кокс доменный	0.000	0.000	0.000	85.000	0.000	1.600	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Кокс нефтяной	0.000	0.000	0.000	-1.000	0.000	0.200	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Кокс орешек	0.000	0.000	0.000	-1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Чугун чушковый	0.500	0.500	0.150	4.000	0.035	0.010	0.003	0.100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.500	0.000	0.000	0.000	0.000
Пакеты	0.500	0.210	0.200	0.250	0.050	0.075	0.007	0.100	0.120	0.000	0.000	0.000	5.000	1.500	0.500	0.000	0.000	0.000
Чугун габарит	1.000	1.000	0.000	3.000	0.100	0.040	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.500	0.500	0.000	0.000	0.000
Чугун негабарит	1.000	1.000	0.000	3.000	0.100	0.040	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.500	0.000	0.000	0.000	0.000
Лом габарит	0.500	0.210	0.200	0.350	0.050	0.075	0.007	0.150	0.120	0.000	0.000	0.000	5.000	2.500	0.500	0.000	0.000	0.000
Лом негабарит	0.500	0.210	0.200	0.350	0.050	0.075	0.007	0.150	0.120	0.000	0.000	0.000	1.000	1.500	0.500	0.000	0.000	0.000
Отмагнич.скрап	0.500	0.010	0.170	0.200	0.035	0.075	0.007	0.040	0.104	0.000	0.750	6.250	2.000	4.000	0.500	0.400	7.000	0.000
Негабаритный скрап	0.500	0.210	0.200	0.350	0.050	0.075	0.007	0.150	0.120	0.000	0.000	0.000	5.000	2.000	1.000	0.000	0.000	0.000
Стружка дробленая	0.500	0.210	0.200	0.800	0.050	0.150	0.007	0.150	0.120	0.000	0.000	0.000	5.000	5.000	0.500	0.000	0.000	0.000
Легковесный лом	0.500	0.210	0.200	0.350	0.050	0.075	0.007	0.150	0.120	0.000	0.000	0.000	5.000	2.000	0.500	0.000	0.000	0.000
Скрап производства	0.500	0.140	0.140	0.250	0.035	0.009	0.007	0.040	0.084	2.500	0.990	8.500	0.000	5.550	0.870	0.510	8.300	0.000
Чистый лом	0.500	0.140	0.140	0.350	0.025	0.075	0.007	0.150	0.120	0.000	0.000	0.000	5.000	2.500	0.500	0.000	0.000	0.000
Окатыши мет	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.000	0.000	0.000	5.000	0.000
Окатыши	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.000	0.000	-1.000	5.000	5.000	0.000	0.000	0.000
Стружка витая	0.500	0.300	0.200	0.800	0.050	0.150	0.007	0.150	0.120	0.000	0.000	0.000	5.000	4.000	0.500	0.000	0.000	0.000
Стружка чугунная	1.000	1.000	0.000	2.000	0.100	0.040	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.000	0.500	0.000	0.000	0.000
Окалина	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.500	0.000	0.000	0.000	-1.000

Примечание: число -1.00 означает «остальное».

Вместе с тем, влияние человеческого фактора на достоверность информации о весе и составе металлозавалки остается достаточно высоким. Для его уменьшения необходима модернизация аппаратного и программного обеспечения АРМ «Рабочее место шихтовщика» (см. п. 5.1.4).

### 3.2. Выплавка стали

ДСП-2 оснащена мощной и современной комплексной АСУТП, в состав которой входят:

1. Система ОРАКУЛ (21-ый узел QNX);
2. АРМ «ДСП -2» (22-ой узел QNX);
3. Система 2-го уровня АСУТП «ДСП-2» (23-ий узел QNX);
4. Сервер сети Sines-H1 (8-ой узел QNX);
5. АСУТП «Доза-2» (12-ый узел QNX);
6. АСУТП «37-ая отметка» (загрузка расходных бункеров) (27-ой узел QNX);
7. MMI системы DANARC (в среде Windows for Works Groups).
8. Регулятор AEG;
9. Регулятор Simelt AC (на базе Simatic S7);
10. Система оптимизации работы регулятора Simelt NEC (в среде Windows NT);
11. Контроллер системы DANARC; (на базе Simatic S5);
12. Контроллер устройств печи (на базе Simatic S5);
13. Контроллер установки Stein (на базе Simatic S5);
14. Контроллер альтернативных источников энергии (на базе «Ремиконт»);

АСУТП «ДСП-2» работает во взаимодействии с технологической базой данных (узел 2 и 5 QNX), АРМ «Рабочее место шихтовщика» (узел 46 QNX) и АСУТП «Печь-ковш» (узел 20 QNX и контроллер устройств установки Печь-ковш на базе контроллера Simatic S5).

Несмотря на не всегда оправданную разношерстность применяемых аппаратных и программных средств, АСУТП «ДСП-2» способна эффективно решать настоящие и перспективные задачи автоматизации процесса выплавки стали.

В настоящее время выплавка стали в ДСП-2 проводится в соответствии с технологическими картами (ТК) и приложениями к ним. В ТК, помимо требований НТД к марке стали по химическому составу, отражены наработанные технологами ММЗ режимы отдачи шлакообразующих и вспенивающих материалов, ввода энергоносителей, ограничения по температуре металла и т.п. Отмечается высокая технологическая культура выплавки стали на ДСП-2, достаточно широкий и постоянно увеличивающийся ассортимент выплавляемых марок стали. Подтверждением сказанному может послужить следующая информация о работе ДСП-2 в 2001 году:

- среднее на плавку количество отбора проб металла в ДСП-2 – 1,09;
- среднее на плавку количество замеров температуры в ДСП-2 – 3,1;
- количество выплавляемых групп марок стали (технологических карт) - 7;
- количество выплавляемых марок стали (приложений к картам) - 50;
- средняя продолжительность плавки – 58,5 мин;
- средняя длительность работы под током – 47,5 мин;
- средний вес годной стали за плавку – 122,5 т;
- средний расход электроэнергии на тонну годного – 405,3 кВтч/т.

Дальнейшее уменьшение количества отбираемых за плавку проб может быть лишь незначительным, ввиду необходимости получения информации о практически непредсказуемом содержании цветных металлов. Внедрение системы ОРАКУЛ уже сегодня позволяет существенно сократить количество замеров температуры на ДСП-2, но этому препятствуют некоторые требования технологических инструкций и ОТК. Так, например, сегодня более информативна и достоверна информация о первом замере температуры на установке Печь-ковш, чем о последнем замере температуры на ДСП-2.

Ожидается дальнейшее сокращение средней продолжительности плавки, времени обработки под током и удельного расхода электроэнергии не менее чем на 2,5 % после отработки и настройки оптимального энерготехнологического режима



плавки (см. п. 5.1.3). Это также будет способствовать увеличению выхода годного металла.

Наибольшее влияние человеческого фактора на технологический процесс обработки в ДСП-2 проявляется при легировании на сливе и при подготовке материалов для легирования. Особенно остро эта проблема вырисовывается при выплавке среднелегированной стали. Модуль легирования на сливе пока не интегрирован в состав АСУТП «ДСП-2». В связи с этим сталевар должен решить - осуществлять отдачу шлакообразующих и вспенивающих материалов в автоматическом режиме, а подготовку легирующих материалов в ручном, либо полностью перевести тракт сыпучих в ручной режим. В первом случае, чтобы успеть подготовиться к легированию на сливе, сталевар вынужден «мешать» своевременной автоматической отдаче шлакообразующих и вспенивающих материалов в печь, но все равно с трудом справляется с проблемой легирования.

Во втором – обеспечить своевременность отдачи шлакообразующих и вспенивающих материалов крайне затруднительно.

Использование системы ОРАКУЛ для автоматического управления рядом устройств и механизмов прежде всего позволило значительно снизить влияние человеческого фактора на ход процесса. За сталеваром остается право принятия окончательного решения по тем или иным вопросам и в его ведении находится выполнение ряда основных операций, недоступных пока ОРАКУЛу, но во многих случаях используются рекомендации, выдаваемые системой. Представляется целесообразным дальнейшее расширение возможностей системы ОРАКУЛ в составе АСУТП «ДСП-2», связанное с постепенным переводом в автоматическое управление всех возможных устройств и механизмов и разработкой оптимальных режимов их совместного использования (см. п. 5.1.1). Значительным продвижением в этом направлении будет создание системы ситуационного управления (см. п. 5.1.12), позволяющей оперативно реагировать на изменения в ходе технологического процесса и оптимизировать работу механизмов и устройств печи. Решить некоторые проблемы, возникающие при выплавке стали в ДСП-2 поможет создание системы оптимизации внепечной обработки металла, первым этапом которой является легирование на сливе (подробнее см. п. 5.1.9).

### 3.3. Внепечная обработка

Внепечная обработка металла осуществляется в несколько этапов. На выпуске из печи проводятся операции раскисления и легирования. Виды и количества раскислителей и легирующих определяются сталеваром. В дальнейшем выполняется обработка металла на агрегате печь-ковш для окончательной корректировки химического состава металла, рафинирования металла от серы, достижения необходимой температуры металла для передачи на МНЛЗ.

Основными компонентами АСУТП «Печь-ковш» являются:

1. АРМ «Печь-ковш» (20-ый узел QNX);
2. Контроллер устройств печи-ковша (на базе Simatic S5);
3. Регулятор мощности.

АСУТП «Печь-ковш» работает во взаимодействии с технологической базой данных (узел 2 и 5 QNX), Сервером Sines-H1 (узел 8 QNX), АРМ «ДСП-2» (узел 22 QNX), АСУТП «МНЛЗ-2» (узел 32 QNX).

Хотя процесс внепечной обработки металла менее всего автоматизирован (по сравнению с операциями на других агрегатах сталеплавильного производства ММЗ), хорошая квалификация персонала ЭСПЦ и ТО позволяет вовремя и качественно осуществить доводку металла по химическому составу и температуре. Основные достигнутые показатели работы установки печь-ковш в 2001 г.:

- среднее на плавку количество отбора проб металла – 2,48;
- среднее на плавку количество замеров температуры – 4,2;
- средняя продолжительность обработки – 46,6 мин;
- средняя длительность работы под током – 23,7 мин;
- средний расход электроэнергии на тонну годного – 43,1 кВтч/т.

Количество ферросплавов, используемых при легировании металла, определяется усвоением основных элементов. Анализ массива плавов за прошедший период 2001 г. позволил оценить среднестатистические по всем группам марок стали значения коэффициентов усвоения соответствующих элементов. Исходными данными для расчета послужили:

- состав металла по результатам последней пробы в ДСП-2;
- состав металла по результатам последней пробы на ПК;
- количества поступивших элементов с легирующими материалами.

Составы материалов для расчета поступления элементов в ковш приведен в табл. 14, а результаты расчета средних коэффициентов усвоения – в табл. 15.

Таблица 14. Принятые в системе ОРАКУЛ составы материалов, используемых при раскислении и легировании металла.

Наименование материала	Содержание элементов и соединений, % по массе												
	Mn	Si	Al	Fe	B	C	P	S	Ca	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaF <sub>2</sub>	SiC
Кокс мел	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	85.0	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Кокс печн	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	85.0	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Графит	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C-провол	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CaF2 85	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	0.0	86.3	0.0
CaF2 91	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2	0.0	91.3	0.0
CaF2 пров	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	0.0	86.3	0.0
FeSi45	0.0	45.0	0.5	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FeSi65	0.3	66.5	1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FeSi75	0.0	75.3	1.6	-1.0	0.0	1.6	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FeSi60	0.3	60.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SiCa пр	0.0	-1.0	0.7	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	30.7	0.0	0.0	0.0	0.0
SiCa кус	0.0	-1.0	0.7	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	30.7	0.0	0.0	0.0	0.0
SiAl	0.0	-1.0	21.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	25.4	0.0	12.5
FeCa пров	0.0	0.0	0.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.7	0.0	0.0	0.0	0.0
FeB пров	0.0	0.0	0.0	-1.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FeB 20A	0.0	0.0	0.0	-1.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SiMn65	65.9	17.8	0.0	-1.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SiMn73	72.5	17.4	0.8	-1.0	0.0	1.6	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SiMn63	63.0	17.8	0.0	-1.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SiMn25	65.0	25.0	0.0	-1.0	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SiMn75	74.5	15.4	0.8	-1.0	0.0	1.6	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SiC	65.0	25.0	0.0	-1.0	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FeMn78	78.0	1.5	0.3	-1.0	0.0	7.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FeMn88	88.0	2.5	0.4	-1.0	0.0	1.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FeMn75	75.0	1.5	0.3	-1.0	0.0	7.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FeMn70	69.0	2.4	0.3	-1.0	0.0	6.1	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Al порош	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.0	0.0	0.0
Al(c)	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.0	0.0	0.0
Al(сл)	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0

Примечание. Значение «-1.0» означает «остальное».

Таблица 15. Средние коэффициенты усвоения элементов при легировании.

Элемент	Последняя проба в ДСП-2, %	Последняя проба на ПК, %	Поступило с материалами, кг	Усвоение, %
C	0.063	0.250	353.5	66.4
Mn	0.044	0.937	1251.9	87.3
Si	0.011	0.427	939.6	50.5
P	0.016	0.021	9.8	64.8
S	0.065	0.023	3.4	-

Средняя степень десульфурации на установке печь-ковш составила 64,6 %, что свидетельствует о достаточно высоком использовании десульфурующей способности ковшевого шлака. Существует возможности дальнейшего улучшения технико-экономических показателей обработки металла на установке печь-ковш, которые может реализовать система ОРАКУЛ.

Использование ОРАКУЛа для автоматического ведения внепечной обработки металла обеспечит:

- расчет оптимальных по стоимости видов и количеств легирующих, раскислителей и шлакообразующих с условием гарантированного попадания в заданный химический состав (см. п. 5.1.9);
- создание условий для минимальной корректировки химического состава металла при последующей обработке на агрегате печь-ковш (в идеальном варианте – отсутствие корректировки состава);
- уменьшение продолжительности обработки металла и снижение расхода электроэнергии на установке печь-ковш;
- облегчение освоения технологии выплавки новых марок стали.

Интеграция системы ОРАКУЛ в АСУТП «Печь – ковш» потребует некоторой модернизации используемого в настоящее время программного и аппаратного обеспечения, которые могут быть выполнены силами ОАСУТП самостоятельно или во взаимодействии с разработчиками системы ОРАКУЛ (см. п. 5.1.9). Основная задача модернизации – повышение точности работы и устойчивости системы управления трактом сыпучих печи-ковша по аналогии с ДСП-2.

### **3.4. Разливка**

МНЛЗ-2 оснащена мощной и современной комплексной АСУТП, способной обеспечить выполнение всех необходимых технологических операций в процессе разливки стали.

В состав комплексной АСУТП «МНЛЗ-2» входят:

1. Сервер МНЛЗ-2 и SINEC-N1 (узел 32 QNX);
2. Система управления раскромом и охлаждением заготовок (узлы 54-56 QNX);
3. АРМ «МНЛЗ-2» (узел 51 QNX);
4. АРМ «Охлаждение заготовок» (узел 52 QNX);
5. Контроллер механизмов и устройств МНЛЗ-2 (на базе Simatic S5);
6. Контроллер управления машинами импульсной резки (на базе Simatic S5).

Комплексная АСУТП «МНЛЗ-2» работает во взаимодействии с технологической базой данных (узел 2 и 5 QNX), АРМ «ДСП-2» (узел 22 QNX), АРМ «Печь-ковш» (узел 20 QNX).

Основные показатели работы МНЛЗ-2 в 2001 г.:

- средняя скорость разливки – 3,4 м/мин;
- средняя серийность – 9,1 плавов.

Специалистами ММЗ проводится постоянная работа по совершенствованию технологии разливки стали, основными направлениями которой являются:

- «мягкое обжатие» слитков;
- защита струи;
- электромагнитное перемешивание.

В ОАСУТП ММЗ разработана добротная модель охлаждения заготовок, которая по непонятным причинам пока не нашла должного применения. Вместе с тем, применение и дальнейшее развитие данной модели может обеспечить улучшение механических характеристик и микроструктуры заготовок.

В состав комплексной АСУТП «МНЛЗ-2» входит модуль прогноза окончания разливки и модуль расчета безотходного раскроя. Необходимая точность работы этих модулей не может быть достигнута из-за отсутствия надежной системы взвешивания промковша и единой тепловой модели МНЛЗ (стальковш – промковш – кристаллизаторы – зоны вторичного охлаждения). Единая тепловая модель МНЛЗ может быть разработана специалистами ОАСУТП ММЗ самостоятельно или во взаимодействии с разработчиками системы ОРАКУЛ (подробнее см. п. 5.1.10). Кроме того единая тепловая модель МНЛЗ позволит согласовать и синхронизировать работу всех программных модулей системы, среди которых выделяются следующие:

- система поддержания уровня металла в кристаллизаторах;
- система управления первичным и вторичным охлаждением заготовок;
- система управления качанием кристаллизаторов;
- система управления смазкой кристаллизаторов.

Решение такой задачи несколько осложнено тем, что перечисленные модули находятся в ведении различных служб, интересы и взгляды которых на развитие комплексной АСУТП ЭСПЦ не всегда совпадают. Вместе с тем согласованная работа всех модулей комплексной АСУТП «МНЛЗ-2» повысит безотказность МНЛЗ в целом и уменьшит количество брака.

#### 4. Состояние информационной системы АСУТП ЭСПЦ

В ЭСПЦ ММЗ функционирует уникальная информационная система, аналог которой пока не известен разработчикам ОРАКУЛА. Степень взаимодействия различных систем и автоматизированных рабочих мест единой АСУТП ЭСПЦ особенно наглядно продемонстрирована созданной специалистами ММЗ Системой автоматического формирования паспорта плавки. Можно утверждать, что состояние АСУТП ЭСПЦ, уровень подготовки специалистов ММЗ, позволяет в обозримом будущем создать на заводе Комплексную систему автоматического ведения плавки, охватывающую весь комплекс технологических операций выплавки и разливки стали от ОКПЛ до МНЛЗ включительно в составе Комплексной АСУТП ЭСПЦ.

Нельзя не отметить некоторые негативные моменты, осложняющие решение задач автоматизации и оптимизации технологических процессов:

- не всегда согласованный подход к построению систем управления в различных службах и подразделениях, занимающихся автоматизацией;
- большая текучесть квалифицированных специалистов (например, состав бюро программирования ОАСУТП за последние 3 года обновлен более чем на 70%);
- система подготовки кадров не всегда поспевает за их текучестью.

##### 4.1. Упрощенная схема информационных потоков АСУТП ЭСПЦ

Далее представлена упрощенная схема информационных потоков комплексной АСУТП электросталеплавильного производства ММЗ и краткое описание основных потоков информации:

1. АРМ «Автотранспорт» (узел 17 QNX) обеспечивает ввод в технологическую базу данных (ТБД) информации о доставке лома автотранспортом. Потоки 1, 6а.

2. АРМ «ОКПЛ» (узел 46 QNX) обеспечивает ввод информации о количестве и видах шихтовых материалов, загружаемых в печь. Информация поступает в ТБД (поток 2, 6а) и АСУТП «ДСП-2» (поток 2, 8а).

3. АСУТП «Газоочистка» (узел 19 QNX) осуществляет сбор, обработку и обмен информацией о состоянии системы очистки отходящих газов. Поток 3а с ТБД, поток 3б с АСУТП «ДСП-2».

4. АСУ «ИОО» (узел 13 QNX) осуществляет сбор, обработку и обмен информацией с ТБД (потоки 4а и 4б) о работе механизмов и устройств отделения обжига извести.

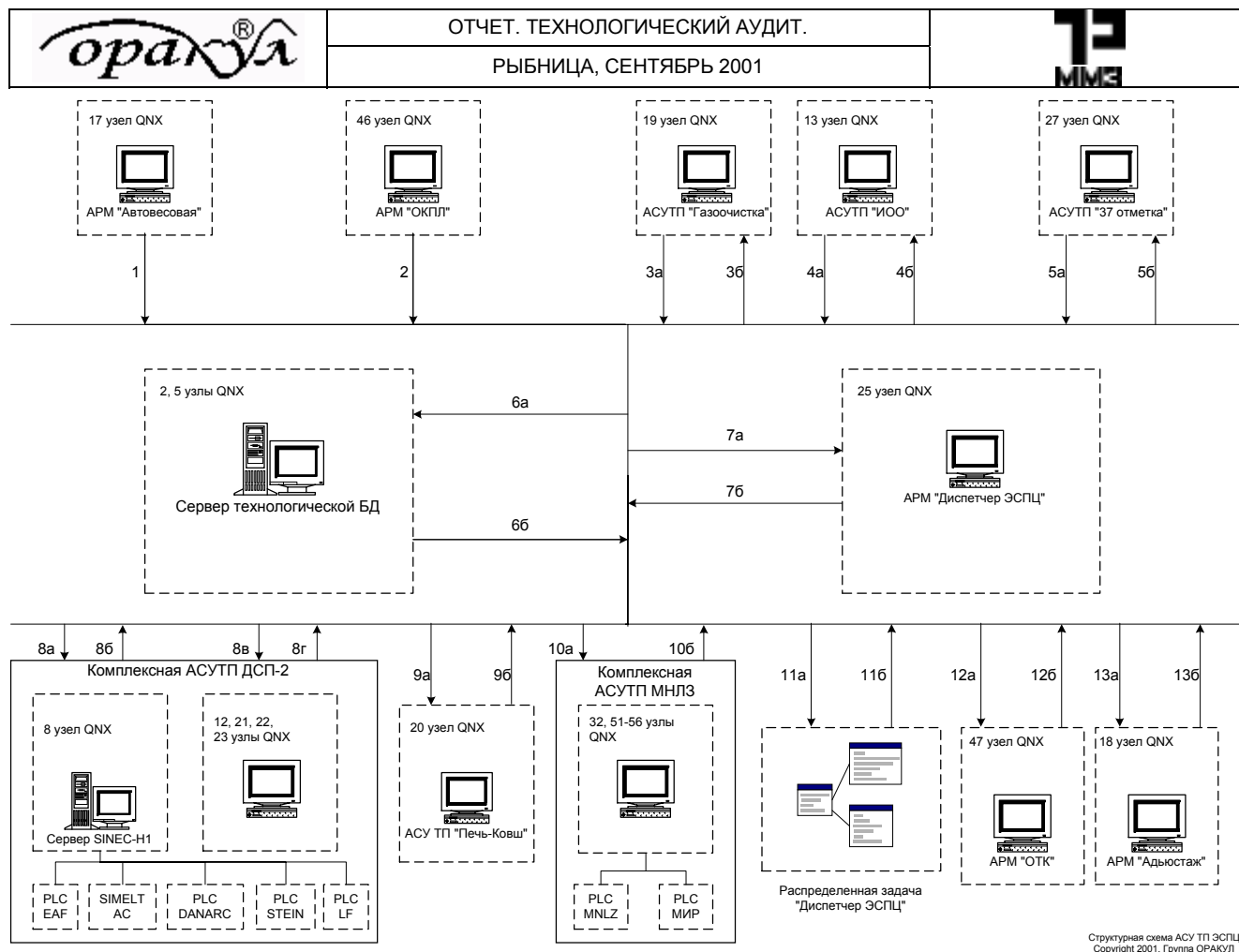


Рисунок 3. Схема информационных потоков существующей АСУТП ЭСПЦ

5. АСУ «37 отметка» (узел 27 QNX) осуществляет управление загрузкой сыпучих материалов в расходные бункера. В перспективе будет получать команды от АСУ «ДСП-2» (поток 8б, 5б) и АСУ «Печь-ковш» (поток 9б, 5б). Обратные потоки информации - 5а, 8а и 5а, 9а.

6. В технологической базе данных (узлы 2 и 5 QNX) осуществляется сбор, обработка и хранение информация о работе комплексной АСУТП ЭСПЦ.

7. АРМ «Диспетчер ЭСПЦ» (узел 25) работает во взаимодействии с технологической базой данных, участвует в формировании паспорта плавки (потоки 7а и 7б).

8. Распределенная задача «Диспетчер ЭСПЦ» систематизирует информацию о состоянии основных агрегатов сталеплавильного производства и делает ее доступной потребителям (потоки 11а и 11б).

9. Комплексная АСУТП «ДСП-2» осуществляет сбор и обработку информации, необходимой для выплавки стали. Работает во взаимодействии с технологической базой данных, АСУТП основных агрегатов сталеплавильного производства, АРМ

«ОКПЛ», поставляет информацию для паспорта плавки и распределенной задачи «Диспетчер ЭСПЦ» (поток 8а, 8б). В состав системы входит Сервер SINEC-H1, обеспечивающий взаимодействие с контроллерами базовой автоматизации ДСП-2 и ПК. В состав комплексной АСУТП «ДСП-2» интегрирована система ОРАКУЛ.

10. АСУТП «Печь-ковш» (узел 20 QNX) осуществляет сбор и обработку информации, необходимой для внепечной обработки стали. Работает во взаимодействии с технологической базой данных, АСУТП основных агрегатов сталеплавильного производства, поставляет информацию для паспорта плавки и распределенной задачи «Диспетчер ЭСПЦ» (поток 9а, 9б).

11. Комплексная АСУТП МНЛЗ (узлы 32, 51-56) осуществляет сбор и обработку информации, необходимой для разлива стали. Работает во взаимодействии с технологической базой данных, АСУТП основных агрегатов сталеплавильного производства, поставляет информацию для паспорта плавки и распределенной задачи «Диспетчер ЭСПЦ» (поток 10а, 10б). В состав системы входит Сервер SINEC-H1, обеспечивающий взаимодействие с контроллерами базовой автоматизации МНЛЗ.

12. АРМ «ОТК» (узел 47) и АРМ «Адьюстаж» работают во взаимодействии с технологической базой данных, участвуют в формировании паспорта плавки и учете готовой продукции (поток 12а, 12 б, 13а, 13б).

#### **4.2. Взаимодействие с системами планирования и управления производством**

ММЗ обладает мощной и гибкой АСУТП сталеплавильного производства, однако ее взаимодействие с автоматизированной системой управления производством (АСУП) и автоматизированной системой управления и планирования производства (АСУПП) сегодня носит «односторонний» характер: осуществляется лишь передача данных из технологической базы данных АСУТП в базы данных АСУП и АСУПП. В рамках АСУТП создано и создается программное обеспечение, которое может в дальнейшем стать основой системы планирования и управления сталеплавильным производством (пример – задача «Диспетчер ЭСПЦ»), однако ее в целом невозможно построить без получения информации, например, о «портфеле заказов» и имеющихся в наличии средств для его выполнения. Очередным шагом в улучшении взаимодействия АСУТП с АСУП и АСУПП может стать дальнейшее развитие комплексной АСУТП ЭСПЦ (см. п. 5) и создание программного обеспечения



оптимального планирования потребностей сталеплавильного производства в материалах и энергоносителях (см. п. 5.1.13).

Следует отметить, что при всей полезности взаимодействия АСУТП с АСУП и АСУПП, некоторые особенности последних уже сегодня способствуют снижению достоверности информации в технологической базе данных ЭСПЦ.

#### **4.3. Место системы ОРАКУЛ в существующей АСУТП**

Внедренные на ММЗ модули системы ОРАКУЛ можно рассматривать в качестве системы второго уровня АСУТП «ДСП-2», решающей задачу условной оптимизации технологического процесса выплавки стали в ДСП. Однако сегодня используется лишь незначительная часть возможностей даже уже интегрированных модулей, многие могут и должны стать востребованными в ходе ее освоения и эксплуатации. ОРАКУЛ – это программный продукт, который не мог быть создан только программистами или только технологами, в нем очень тесно переплетены знания из различных областей науки и техники.

Основное назначение системы – автоматическое ведение плавки, но возможности ОРАКУЛа гораздо шире. ОРАКУЛ может быть, например, использован для обучения программиста металлургии, а металлурга – информационным технологиям. ОРАКУЛ – мощное средство металлурга, позволяющее совершенствовать существующие, находить и осваивать новые технологии выплавки стали.

Можно однозначно утверждать, что успешное решение задач оптимизации технологии выплавки стали возможно только в тесном взаимодействии металлургов-технологов и специалистов информационных технологий. Неслучайно изучение ОРАКУЛа (в том числе и созданной для ММЗ версии) входит в программу обучения студентов курса «Системы автоматического проектирования технологии электроплавки» на кафедре «Электрометаллургия и конверторное производство стали» Донецкого Национального технического университета. Подобный курс сегодня создается и в Московском институте стали и сплавов.

Ниже приведена упрощенная схема взаимодействия модулей системы ОРАКУЛ с другими системами АСУТП «ДСП-2» и технологическим персоналом и ее краткое описание.

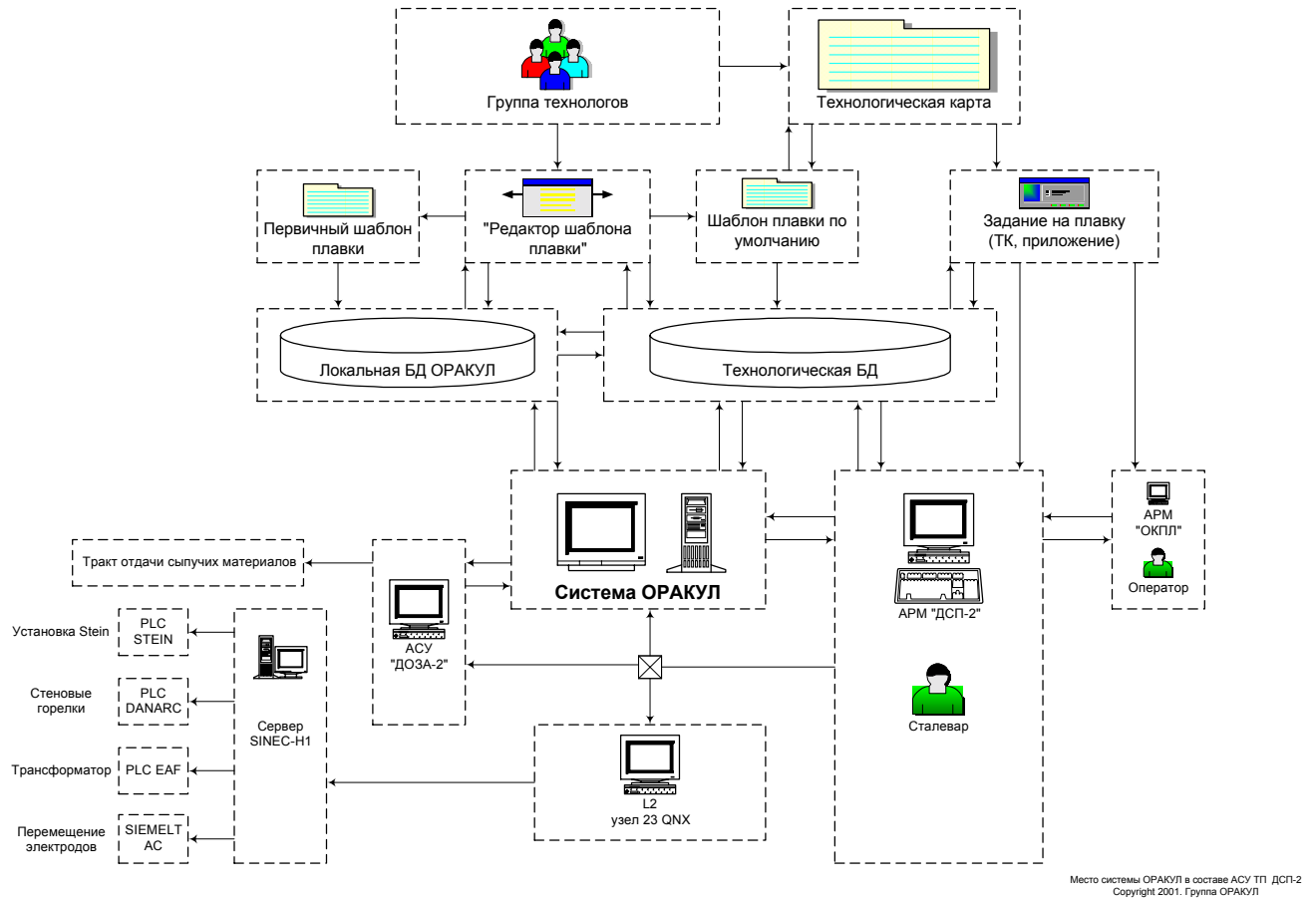


Рисунок 4. Место системы ОРАКУЛ в существующей АСУТП ДСП-2.

Система ОРАКУЛ рассчитывает проект конкретной плавки на основании разработанной технологической карты. В соответствии с результатами расчетов осуществляется управление механизмами и устройствами печи. Технология выплавки стали формализована в первичном шаблоне плавки для соответствующей группы марок стали или в шаблоне по умолчанию, если в задании на плавку указаны технологическая карта и приложение, по которым не описана технология выплавки.

Технологические карты и приложения к ним разрабатываются группой специалистов технического отдела. На основе любой ТК с помощью «Редактора шаблона плавки» может быть создан первичный шаблон плавки. Задание на плавку представляет из себя формализованное описание требований к технологии выплавки данной марки стали, которое хранится в технологической базе данных.

Для многих расчетов ОРАКУЛ использует информацию, хранящуюся в своей локальной базе. Организован обмен информацией между технологической базой данных ЭСПЦ и локальной базой данных ОРАКУЛа.

Сбор информации о ходе процесса выплавки стали осуществляет «АРМ ДСП-2» и «Сервер Sines H1». Информация о видах и составе лома поступает с АРМ «ОКПЛ».

Управляющие воздействия тракту сыпучих материалов передаются через АСУТП «Доза-2». В автоматическом режиме управление отдачей сыпучих материалов осуществляет ОРАКУЛ, в ручном задание тракту сыпучих выдает сталевар.

Уставки на трансформатор, регулятор тока, стеновые горелки и установку Stein передаются через сервер SINEC-H1 на вход соответствующих контроллеров. Система резервирования позволяет назначить источник управляющих воздействий каждому из этих устройств: либо существующая система 2-го уровня (узел 23 QNX), либо ОРАКУЛ.

Влияние человеческого фактора на ход процесса выплавки стали полностью не устранено. При такой организации существенное влияние на результат может оказать сталевар, технолог и оператор ОКПЛ.

## 5. Перспективы развития системы ОРАКУЛ и АСУТП ЭСПЦ

Конечной целью развития системы ОРАКУЛ в составе АСУТП ЭСПЦ является создание полностью автоматизированной цепочки ОКПЛ-ДСП-ПК-вакууматор-МНЛЗ, что позволит:

- синхронизировать работу всех агрегатов сталеплавильного производства;
- минимизировать расходы по переделу;
- добиться оптимальной загрузки агрегатов;
- снизить роль «человеческого фактора» и стабилизировать технологию;
- повысить качество выпускаемой продукции;
- обеспечить условия эффективного взаимодействия с системами управления и планирования производства.

Основным приоритетным направлением разработок является получение высококачественного металла с заданным уровнем необходимых механических свойств и низким содержанием неметаллических включений.

### 5.1. Проблемные вопросы и направления развития технологии и АСУТП в ЭСПЦ

В выполненной работе не ставилась задача изменения принятой на ММЗ технологии выплавки стали, а потому созданная система позволяет в автоматическом режиме проводить выплавку стали по заданной технологии. Разработан инструмент, позволяющий «редактировать технологию ведения плавки» заданной марки, возможности которого пока используются не полностью. Вместе с тем, необходимо и возможно оптимизировать существующую технологию выплавки стали. Далее рассматриваются основные способы повышения эффективности сталеплавильного производства на ММЗ.

#### 5.1.1. Оптимизация режимов работы вспомогательного оборудования

##### 5.1.1.1. Газокислородные горелки

Работа газокислородных горелок наиболее эффективна тогда, когда их факел «достает» до нерасплавленного лома. По мере плавления происходит «оседание» шихты и наступает момент, когда плоскость факела становится выше поверхности ванны. Эффективность нагрева и плавления от работы горелок в этом случае понижается. Дальнейшее использование горелок может быть целесообразным лишь

при их работе в режиме дожигания окиси углерода, однако эффективность такого режима существенно ниже.

По предварительным оценкам рациональное использование газокислородных горелок позволит сократить в среднем за плавку расход природного газа на 40-80 м<sup>3</sup> и расход кислорода на 80-160 м<sup>3</sup>. Обеспечить оптимальный режим работы горелок можно путем создания системы ситуационного управления ими, которая должна учесть:

- изменение свободного объема в печи за счет плавления лома;
- объем выделившегося СО за счет кипения;
- давление под сводом и режим работы газоочистки;
- режим работы остального оборудования печи и прежде всего устройств кислородной продувки;
- изменение температуры отходящих газов и содержания в нем СО и СО<sub>2</sub>;
- значения гармонических составляющих токов электродов.

#### **5.1.1.2. Устройства кислородной продувки**

По предварительным оценкам, создание системы автоматического управления устройствами кислородной продувки (прежде всего манипуляторы «Палмур» и «Фукс-ММЗ») позволит уменьшить средний за плавку расход кислорода на 200-250 м<sup>3</sup> и сократить среднюю продолжительность плавки на 30-50 секунд, а так же повысить средний за плавку выход годного металла на 0,8-2,0 т.

Эффект может быть достигнут прежде всего за счет создания с помощью продувочных устройств условий контролируемого «вскипания» ванны, при котором интенсифицируется процесс ее перемешивания. Это позволит уменьшить температурную и химическую неоднородность металла в печи и синхронизировать момент готовности к выпуску по химическому составу и температуре.

Модель оптимального управления устройствами кислородной продувки реализуема в рамках интегрированных в состав АСУТП «ДСП-2» модулей системы ОРАКУЛ, автоматическое же управление данными устройствами возможно в случае некоторой модернизации системы базовой автоматизации.

#### **5.1.1.3. Устройства донной продувки**

Сравнение технико-экономических показателей плавов, проведенных с донной продувкой и без нее доказывает ее высокую эффективность. Вместе с тем возможна

оптимизация режима донной продувки, которая в общих чертах сводится к следующему:

- минимально допустимая интенсивность продувки при недостаточном количестве жидкого металла в печи;
- максимальная интенсивность продувки в период рафинирования;
- снижение интенсивности продувки в периоды значительного «вскипания» ванны.

Целесообразно осуществлять автоматическое управление устройствами донной продувки при выдаче уставок от системы ОРАКУЛ, способной учесть перечисленные выше факторы.

#### **5.1.1.4. Учет режима работы газоочистки**

В процессе выплавки стали температура отходящих газов существенно изменяется (от 50 до 350 °С) в зависимости от текущего состояния ванны и интенсивности газовыделения. В то же время производительность системы газоочистки поддерживается на постоянном уровне, что приводит к необоснованному завышению тепловых потерь с отходящими газами. Представляется целесообразным оснастить газоочистку моделью в составе системы управления, учитывающей текущую температуру отходящих газов и особенности текущего физико-химического состояния ванны металла, что позволит снизить тепловые потери и расход электроэнергии.

#### **5.1.1.5. Механизм наклона печи**

Своевременное удаление и обновление окислительного шлака в печи способствует улучшению дефосфорации. Излишний шлак удлиняет цикл плавки и снижает выход годного металла. Недостаточное количество шлака ухудшает электрический режим, увеличивает износ футеровки и может приводить к повышенному содержанию фосфора в металле.

В системе ОРАКУЛ учтены все эти обстоятельства и система принципиально готова к автоматизации управления механизмом наклона печи. Целесообразно оснастить механизм наклона печи аналоговым датчиком положения, что повысит точность расчетов ОРАКУЛа и обеспечит адекватность управляющих воздействий.

#### **5.1.2. Оптимизация шихтовки плавки**

Проведенные исследования и перспективные разработки показали возможность расчета оптимального количества и видов шихтовых материалов с учетом их наличия

на ОКПЛ, выплавляемой марки стали и портфеля заказов. Это позволит более рационально использовать имеющиеся ресурсы и сократить суммарную продолжительность производственного цикла. Кроме того, появляется возможность реализовать алгоритмы оценки целесообразности и расчета экономической эффективности использования в каждом конкретном случае различных видов лома, шлакообразующих материалов, отходов собственного производства, например, окалины, скрапа сталеплавильного производства и т.д.

По предварительным оценкам поддержание рационального объема жидкого остатка металла и шлака в печи позволит сократить среднюю продолжительность плавки на 0.5-1.0 минуты и уменьшить расход электроэнергии в среднем на 2-5 кВтч/тонну годного.

Часто причиной недостаточного или избыточного количества жидкого остатка стали в печи является несоответствие фактического наливного объема сталеразливочного ковша массе и составу металлозавалок. Сегодня как-то неестественно выглядит листочек с указанием последовательности подачи сталеразливочных ковшей и количества ранее слитых в них плавов рядом с окруженным шестью мониторами сталеваром. Решению проблемы может способствовать создание АСУТП «Участок сушки и разогрева стальной» (см. п. 5.1.8), внедрение в состав ОРАКУЛа модуля расчета заказа на шихтовку последующих плавов и организации их взаимодействия с АРМ «ОКПЛ».

### **5.1.3. Оптимизация энерготехнологического режима**

Производительность и продуктивность работы печи во многом определяется согласованной работой всех механизмов и устройств. Изменение графика работы любого механизма или устройства, как правило, влечет за собой необходимость корректировки режимов работы остальных устройств.

Период ОПЭ системы ОРАКУЛ сопровождался частым изменением схемы и графика работы системы трансформатор – регулятор. В тех случаях, когда это не учитывались в графиках работы остального оборудования (прежде всего отдаче сыпучих материалов) технико-экономические показатели плавки ухудшались. Например, ранний переход на «короткие» дуги без изменения режима отдачи сыпучих приводил к чрезмерному закрытию дуг, что ухудшало качество плавления лома. Система ОРАКУЛ снабжена сегодня механизмом адаптации размера порций сыпучих материалов, учитывающим не только пропускную способность системы дозирования,

но и особенности периода плавки. Но управление дозированием не вправе всегда подстраиваться к навязываемому электрическому режиму, поскольку в таком случае может быть не достигнут заданный химический состав. Возникает необходимость в оптимизации единого энерготехнологического режима ведения плавки.

Особая роль в этом режиме отводится системе регулятор-трансформатор.

#### **5.1.3.1. Сравнительная характеристика регуляторов**

В период разработки и внедрения системы ОРАКУЛ на ДСП-2 использовались два регулятора: AEG и Simelt AC.

Регулятор AEG обладает следующими особенностями:

- способен самостоятельно вести плавку;
- практически невосприимчив к внешним управляющим воздействиям;
- работоспособен только в интерактивном взаимодействии со сталеваром (ручной ввод веса завалки и подвалок);
- работает по жесткому шаблону;
- обладает возможностью учета поступления энергии в печь от альтернативных источников энергии.

Идеология построения регулятора Simelt AC несколько иная:

- предназначен для работы в комплексе с системой управления второго уровня;
- способен принимать и исполнять управляющие воздействия от внешних источников;
- может работать во взаимодействии с системой подстройки электрических параметров Simelt NEC (роль и эффективность использования которой пока не совсем понятна).

Для оптимизации единого энерготехнологического режима лучше подходит идеология Simelt AC, позволяющая уйти от жестких шаблонов ведения плавки.

К сожалению, при эксплуатации в составе комплексной АСУТП «ДСП-2» регулятор Simelt AC пока не показал ожидаемого от него эффекта. Проблемы оптимизации электрического режима разрешимы в рамках единой АСУТП «ДСП-2». Следует отметить, что эффективность работы ДСП-2 во многом определяется качеством выполнения системой трансформатор – регулятор – гидравлика – электроды заданного электрического режима, которое заставляет желать лучшего.

Сравнение работы регуляторов на ряде плавков показало, что некоторые передаточные и регулировочные характеристики указанной выше системы с



применением в ней регулятора AEG в большинстве случаев даже лучше, чем при использовании регулятора Simelt AC.

Обозначенные выше различия можно отследить по рисункам 5 - 8.

В настоящее время применение регулятора Simelt сопровождается большими перерегулированием и инерционностью системы трансформатор – регулятор – гидравлика – электроды, чем в случае применения AEG.

Наименование диаграммы	Коэффициент	Шкала
Температура (расчет)	50	2000.000
lb[2]	2500	40.000
Мощность акт.	1000	100.000
Косинус	100000	1.000
Кривая	10000	10.000

Рисунок 5. Легенда трендов, приведенных на рисунках 6 - 8.

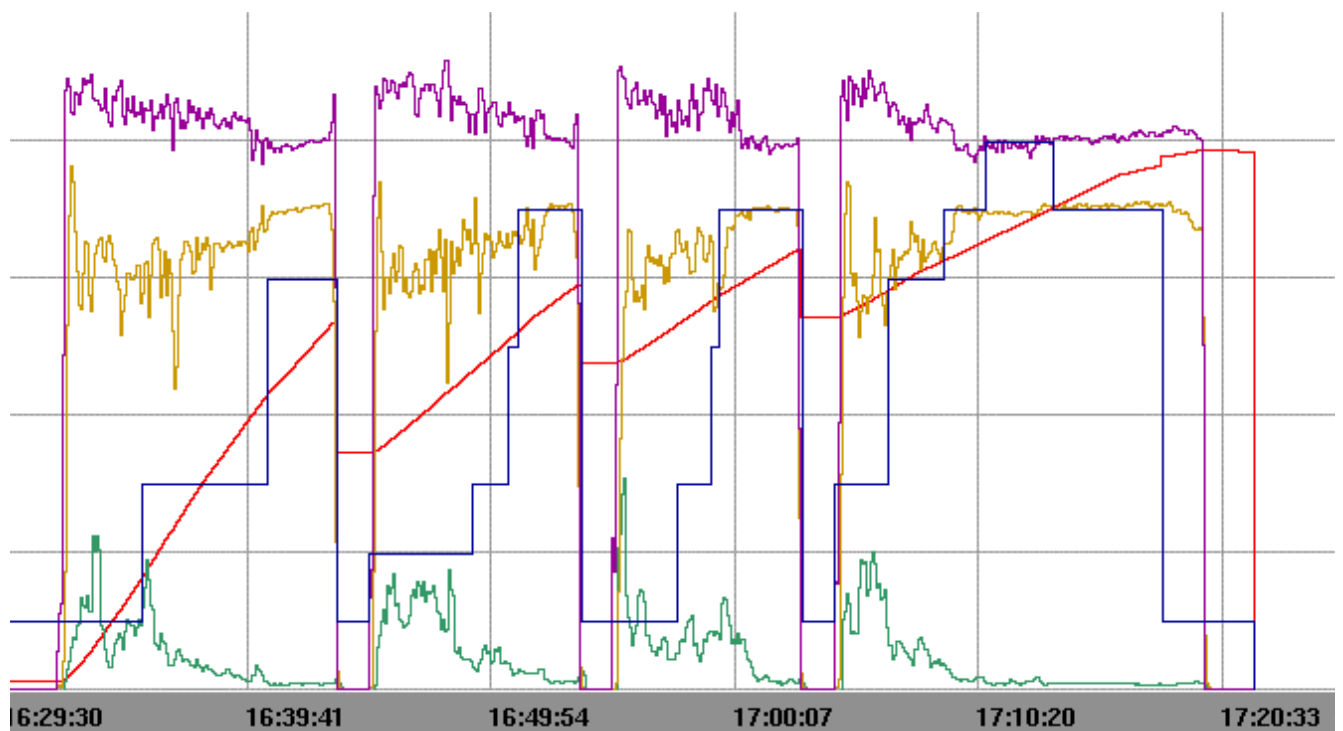


Рисунок 6. Плавка № 215816 (Simelt).

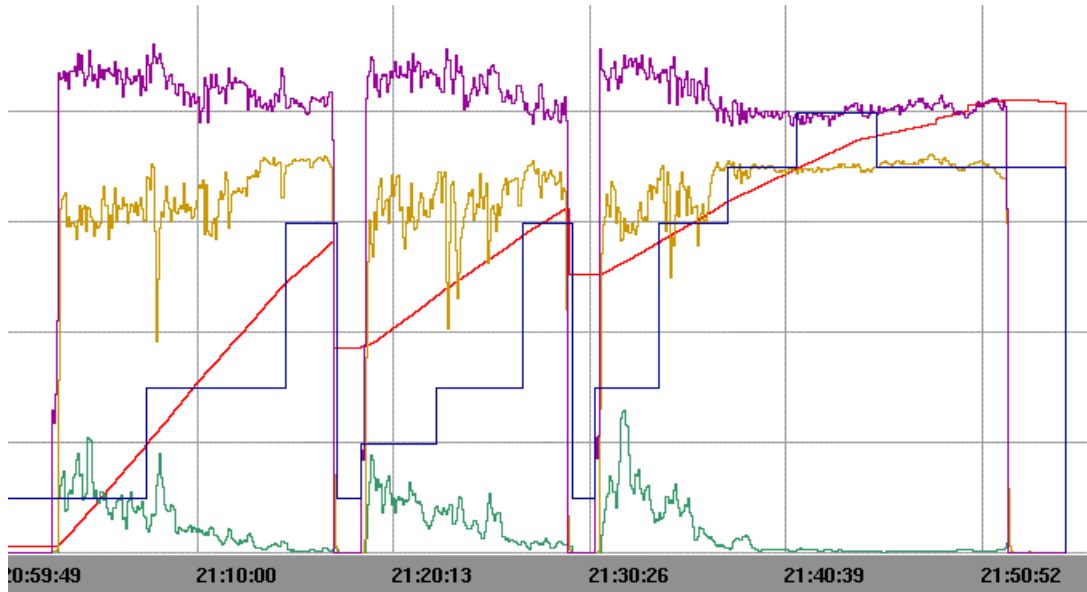


Рисунок 7. Плавка № 215821 (АЕГ).

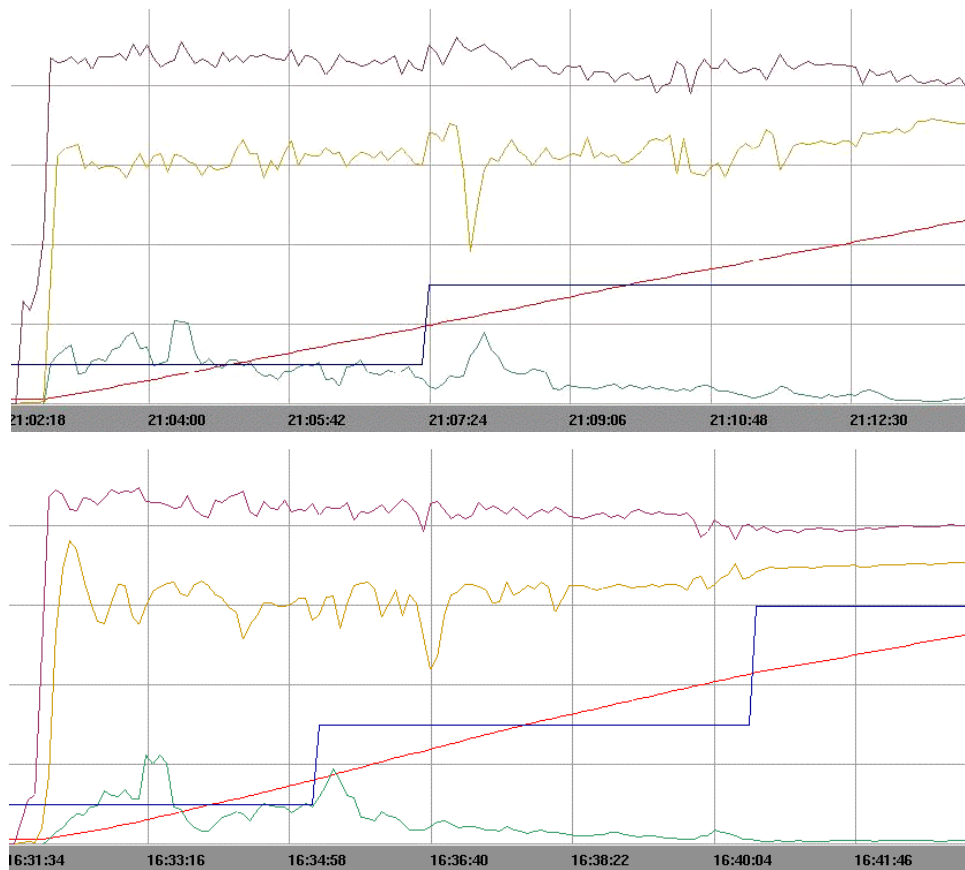


Рисунок 8. Сравнение режимов расплавления завалки: сверху АЕГ, внизу Simelt.

### 5.1.3.2. Создание собственного регулятора

Квалификация специалистов ОАСУТП, технического отдела, ЭСПЦ и службы главного электрика позволяет создать собственный регулятор ММЗ. Группа ОРАКУЛ готова принять участие в данной работе.

Привлекательность этого проекта заключается в следующем:

- концентрация накопленного на ММЗ опыта в конечном продукте;
- возможность учета особенностей построения систем управления на ММЗ;
- возможность обеспечения щадящего и экономичного использования трансформатора;
- рациональная интеграция регулятора в существующую систему электроснабжения ММЗ;
- учет особенностей имеющейся и перспективной гидравлической системы управления электродами;
- создание предпосылок для тиражирования комплексной системы автоматизации ДСП;
- облегчение решения задач в инжиниринговой деятельности ММЗ.

### 5.1.4. Модернизация АСУТП ОКПЛ

Основная задача модернизации АСУТП ОКПЛ – уменьшение влияния человеческого фактора на достоверность информации о весе и составе шихтовки. Предлагается создать систему на основе распознавания образов. Система должна учесть:

- допустимую долю отдельных материалов в металлозавалке;
- графики изменения показаний весов при загрузке корзин;
- движение и позиционирование скраповоза.

Группа ОРАКУЛ готова принять участие в данной работе.

### 5.1.5. Аппаратное обеспечение развития системы ОРАКУЛ на ДСП-2

Успешная эксплуатация, надежная работа, дальнейшее развитие и удобное использование системы ОРАКУЛ в составе АСУТП «ДСП-2» предполагает соответствие аппаратных средств возможностям программных продуктов, для которых они предназначены.

Предлагается рассмотреть возможность приобретения для исполнения системы ОРАКУЛ на ДСП-2 компьютеров и оборудования, указанного в спецификациях (см.

табл. 16 - 18). Спецификации разработаны совместно со специалистами ОАСУТП. При выборе аппаратных средств прежде всего учитывались следующие факторы:

- соответствие выбора принятой в ОАСУТП концепции развития систем и формирования парка компьютерной техники;
- обеспечение круглосуточной бесперебойной работы системы при минимально необходимом наблюдении за ней специалистов ОАСУТП;
- защита от пыли, радио- и электрических помех в условиях пультовой ДСП-2;
- удобная и наглядная визуализация параметров работы системы и АСУТП «ДСП-2» в целом;
- сохранение единого дизайна и интерьера пультовой ДСП-2;
- предоставление возможности реализации аварийной и предупредительной звуковой сигнализации;
- необходимость надежного и длительного (1 год) хранения исторической информации о ходе процесса выплавки стали на ДСП-2 для последующего ее анализа, обучения технологического персонала и освоения новых приемов ведения плавки;
- обеспечение соответствия быстродействия системы визуализации реальным потребностям технологического персонала и скорости протекания технологических процессов.

Таблица 16 . Спецификация компьютерной техники для перспективной системы ОРАКУЛ на ДСП-2.

№	Обозначение	Наименование комплектующих	Кол-во	Цена	Стоимость
1	IPC-615BP4-25R	4U 14-slot (9 ISA/4 PCI/1 CPU) IPC chassis w/250W redundant AT SPS	1	\$1015.00	\$1015.00
2	PCA-6180F-00A1	FC-PGA P!!! SBC w/VGA/2 LAN/SCSI/HISA	1	\$898.00	\$898.00
3		CPU Pentium III 1000eb 256c (0,18) FC-PGA boxed 133 MHz	1	\$220.80	\$220.80
4		DIMM 256 Mb PC133	2	\$100.00	\$200.00
5	WD307BB	HDD 30,7 Gb WD (Ultra DMA 100, Cache 2048, 7200RPM, S.M.A.R.T. )	1	\$122.00	\$122.00
6	FPM-3180TV	Flat Panel Monitor with 18.1" SXGA TFT LCD and 1.8m cable	1	\$5041.00	\$5041.00
7	PM2000	114 Key Desk Top keyboard with Durapoint Mouse	1	\$1185.00	\$1185.00
8		CD ROM 52x Creative + IDE кабель + аудиокабель	1	\$36.80	\$36.80
9		FDD 3,5"	1	\$12.08	\$12.08
					<b>\$8730.68</b>
1	IPC-601-SCA	1U eServer Chassis w/300W ATX SPS, supporting 3x SCA SCSI HDDs, CD-ROM and FDD are included	1	\$1340.00	\$1340.00
2	PCA-6180F-00A1	FC-PGA P!!! SBC w/VGA/2 LAN/SCSI/HISA	1	\$898.00	\$898.00
3		CPU Pentium III 1000eb 256c (0,18) FC-PGA boxed 133 MHz	1	\$220.80	\$220.00
4		DIMM 256 Mb PC133	2	\$100.00	\$200.00
5		НЖМД HDD Quantum SCSI 36.7Gb Atlas 10k-II Ultra160 SCSI 68pin[10000rpm, 4.7ms, 8192kb]	3	\$530.00	\$1590.00
6		Raritan CompuSwitch (4PC/1monitor,kbd,mouse)	1	\$400.00	\$400.00
7		Соединитель "Гидра"10метров для кл. и мыши,монитора	4	\$70.00	\$280.00
					<b>\$4928.00</b>

Таблица 17. Командная панель VIP6000 (Rittal) для ПУ ДСП-2.

№ п/п.	Part №	Опознавательный код	Комплект поставки	Наименование	Кол.	Цена USD	Сумма USD	Стр.
1	6392009	12112212	1	Портативный корпус VIP6000	1	\$520.00	520.00	173
2	6351009	11122	1	Корпус для клавиатуры VIP6000	1	\$481.00	481.00	174
3	6137535		1	Основание стойки	1	\$137.96	137.96	159
4	6515000		2(м)	Опорный профиль	1	\$87.01	87.01	158
5	6525500		1	Крепление для корпуса	1	\$31.82	31.82	160
6	6529000		1	Наклонное соединительное кольцо	1	\$116.88	116.88	161
7	6058000		30	Монтажный набор	1	\$17.04	17.04	184
				<b>Итого</b>			<b>\$1391.71</b>	

Таблица 18. Спецификация на распределительный шкаф.

№ п.п	N заказа	Коли-во	Наименование	Кол-во в комплекте	Цена	Сумма	Стр.
1	7160235	1	Распред-ный шкаф ДК на базе PS 4000 (600x800x2000)	1	575.11	575.11	600
2	2846200	1	Цоколь	1	52.01	52.01	662
3	7164000	3	Приборная полка, 471x400, 50кг	1	34.56	103.68	738
4	7144035	3	Приборная полка 19"	1	47.34	142.02	742
5	7061000	6	Телескопические направляющие	2	47.43	284.58	738
6	4320000	1	Вводные кабельные панели	2	22.50	22.50	670
7	4108235	1	Боковые панели	2	197.22	197.22	678
8	4191000	1	Зажимная кабельная шина	2	26.69	26.69	675
9	4391000	1	Профили 19"	2	124.85	124.85	770
10	7498035	1	Опорный уголок	2	35.91	35.91	772
11	7798000	4	Крепление для полок	1	15.84	63.36	739
12	4139140	2	Лампа-Комфорт 14 W, 230 V, 50 Hz, 475 mm	1	99.95	199.90	749
13	7205000	2	Блок розеток на 230 V	1	41.00	82.00	752
14	7275000	2	Набор проводов заземления	1	23.30	46.60	756
15	4750000	1	Уплотняющая поперечина	5	51.25	51.25	695
16	3324100	2	Фильтрующий вентилятор	1	101.64	203.28	516
17	3325200	2	Выходной фильтр	1	26.26	52.52	516
18	3192100	1	Уплотнительные рамки для фильтрующих вен-ров	5	8.13	8.13	539
19	7109000	2	кросс панель 1ЕВ с цифровым термометром и термостатом	1	90.63	181.26	540
20	4136700	1	Секционная монтажная панель	2	95.19	95.19	723
21	4580000	1	Соединительные болты для PS	6	7.79	7.79	683
22	7180235	1	Распред-ный шкаф ДК на базе PS 4000 (800x800x2000)	1	917.70	917.70	600
23	4321000	1	Вводные кабельные панели	2	22.50	22.50	670
24	2848200	1	Цоколь	1	56.33	56.33	662
25	2515000	1	Карманы для документов	1	5.08	5.08	713
26	2094200	1	Гайки накидные для монтажа 19" оборудования	50	12.36	12.36	431
27	2092200	1	Гайки для монтажа 19" оборудования	50	10.92	10.92	431
28	2093200	1	Фиксирующие винты	100	7.96	7.96	431
29	2089000	1	Фиксирующие винты	100	5.08	5.08	431
30	4164000	1	Квадратные гайки	50	22.28	22.28	266
31	7280035	3	Кабельная разветвительная коробка	1	19.29	57.87	751
			<b>Итого</b>			<b>\$3673.93</b>	

Примечание. В спецификациях указаны средние на момент их составления цены, выбранные из прайс-листов фирм-поставщиков компьютерного оборудования для ММЗ.

### 5.1.6. Система взвешивания печи

Работа по созданию и эксплуатации системы ОРАКУЛ на ММЗ иногда сопровождалась следующими независимыми от нее, но существенно снижающими точность расчета факторами:

- недостоверность показаний весов на сталевозе, затрудняющая определение количества жидкого металла в ковше и «болота», оставшегося в печи;
- погрешности в поступающей с ОКПЛ информации о весе и составе металлозавалки;
- недоступность информации о количестве выделившихся из печи газов и содержания CO и CO<sub>2</sub>;
- отсутствие информации о скорости и объеме сошедшего самотеком или скачанного принудительно шлака.

Возможно существенное повышение точности расчетов и эффективности системы ОРАКУЛ, а также увеличение достоверности информации, хранящейся в технологической базе данных в случае оборудования печи системой взвешивания. Современные средства измерительной техники позволяют решить такую задачу. Группа ОРАКУЛ при необходимости может принять участие в реализации данного проекта во взаимодействии со специалистами ММЗ.

#### **5.1.7. Самообучающаяся система ведения плавки**

Пакет ОРАКУЛ позволяет реализовать механизм «самообучения» системы управления на основе расчета и сравнения стоимости (и/или других показателей) ранее проведенных плавки, независимо от использованного на этих плавках вида управления механизмами и устройствами. Получение лучших показателей может использоваться системой в качестве сигнала о необходимости учесть отличие использованной в конкретном случае технологии от стандартной. Этот же механизм позволит вовремя отказаться от не оправдавшего себя способа ведения плавки.

Реализация данного проекта в составе АСУТП «ДСП-2» будет способствовать дальнейшей стабилизации технологии выплавки стали, постоянному и плавному ее совершенствованию, а также снижению себестоимости выпускаемой продукции.

#### **5.1.8. Система учета и управления разогревом ковшей**

Оснащение участка сушки и разогрева стальной ковшевой системой учета и управления является логичным продолжением развития АСУТП ЭСПЦ. Подобная система, оснащенная добротной математической моделью, позволит не только повысить качество исполнения технологических операций сушки и разогрева ковшей, но и будет способствовать повышению эффективности работы цеха в целом (см.

п. 5.1.2). В ОАСУТП существуют наработки, необходимые для создания такой системы. Группа ОРАКУЛ готова к совместной реализации данного проекта.

### **5.1.9. Внепечная обработка: легирование на сливе и обработка на установке печь-ковш**

В настоящее время создана система, прогнозирующая по ходу плавки химический состав и температуру металла, и позволяющая проводить выплавку стали в ДСП-2 в автоматическом режиме. Помимо этого система выдает рекомендации по раскислению и легированию металла на сливе в ковш (демо-версия). Проведенные пробные испытания системы расчета необходимых количеств легирующих на сливе показали принципиальную возможность использования разработанных алгоритмов. Строгий теоретический расчет совместно с фактической и прогнозной информацией о составе металла в печи позволяет обеспечить попадание в заданный химический состав металла уже на этом этапе, с минимальной коррекцией на установке ПК. Это, в конечном счете, позволит сократить продолжительность обработки стали.

ОПЭ системы ОРАКУЛ показала возможность снижения продолжительности выплавки стали в ДСП-2. Это в некоторых случаях приводило к несогласованной работе ДСП-2 и ПК и появлялась необходимость затягивания плавки и перегрева металла в печи.

Однако наиболее эффективно система оптимизации легирования будет функционировать в комплексе с системой управления внепечной обработкой, поскольку конечная цель – сокращение продолжительности обработки и повышение качества металла – может быть достигнута только при совместном решении этих двух задач.

Основным преимуществом использования системы ОРАКУЛ является возможность ведения технологических процессов в автоматическом режиме. При этом система ОРАКУЛ, в отличие от других, не предъявляет жестких требований к стандартизации самого технологического процесса и используемых материалов, устойчива к различного рода отклонениям и позволяет оперативно вносить изменения в технологию обработки металла в зависимости от этих изменений.

Применение системы ОРАКУЛ на агрегате печь-ковш (ПК) позволит обеспечить:

- прогноз химического состава продуктов плавки: металла, шлака и газовой фазы;



- расчет температуры металла и управление тепловыми процессами в агрегате печь-ковш;
- составление проекта оптимального технологического процесса, оперативная оптимизация технологического процесса обработки металла;
- ведение технологического процесса обработки металла на сливе и на агрегате ПК в автоматическом режиме – автоматическое управление электрическим режимом, трактом подачи сыпучих материалов и продувочными устройствами;
- точное соблюдение принятой технологии и стандартизацию технологического процесса внепечной обработки металла;
- гарантированное попадание в заданные химический состав и температуру металла перед разливкой, стабилизация качества металла от плавки к плавке;
- точный расчет необходимого количества легирующих и других материалов, минимизацию затрат по переделу на агрегате печь-ковш;
- сокращение времени обработки металла на агрегате печь-ковш;
- снижение расхода электроэнергии;
- ситуационное управление: оперативный учет всех возникающих отклонений и коррекция текущего технологического процесса обработки металла в режиме реального времени;
- устойчивое ведение процесса обработки стали при нестабильности исходных условий (непостоянство состава поступающего на обработку металла, легирующих и других материалов), при использовании ранее не применявшихся материалов, а также в нештатных ситуациях. При возникновении ситуации, делающей невозможным получение заданного металла, система предлагает возможные решения;
- мониторинг технологического процесса при обработке металла на ПК, например, согласование длины дуги и высоты шлака, что позволит снизить расход электроэнергии и повысить стойкость ковшей;
- автоматический адаптивный учет изменяющихся параметров агрегата и технологического процесса обработки металла;
- взаимосвязь со смежными системами и подсистемами АСУТП;
- поддержка нормативно-справочной документации;
- визуализация хода технологического процесса и результатов расчетов системы;
- регистрация хода технологического процесса и рекомендаций системы.

Наличие существующей системы управления выплавкой стали в ДСП-2 позволяет оперативно оптимизировать и согласовать работу всех агрегатов ЭСПЦ: ДСП (текущая и планируемые марки стали), ПК (очередь ковшей, ожидающих обработку), МНЛЗ (количество разливаемых ручьев и скорость разливки). Кроме того, появляется возможность более эффективно реализовать работу ДСП-2 – при отсутствии необходимости проводить плавки за минимальное время система может перейти в режим экономии электроэнергии при заданном времени выпуска.

Блок проектирования обработки металла на установке ПК является моделью, способной просчитать весь технологический процесс внепечной обработки стали, найти наиболее рациональный вариант его ведения и определить его технико-экономические показатели.

Работа блока проектирования плавки состоит из трех этапов: подготовка данных для проектирования, генерация вариантов и выбор лучшего. Основанием для проектирования технологического процесса обработки служит задание на плавку, в котором указывается марка стали, планируемый (для расчета раскисления и легирования на сливе) и фактический (для проектирования обработки на агрегате пещковш) вес металла в ковше, характеристики оборудования (устройств), а также желательное время передачи металла на разливку.

При проектировании процесса внепечной обработки решается задача оптимизации, т.е. поиска таких значений оптимизируемых переменных, при которых достигается минимум целевой функции при условии выполнения заданных ограничений на оптимизируемые переменные. В качестве целевой функции используется суммарная стоимость используемых при обработке материалов и энергоносителей. Возможно изменение/дополнение целевой функции: введение ограничений по тем или иным нежелательным неметаллическим включениям, учет условно-постоянных расходов, длительности расчетного периода, каких-либо других производственных и экономических показателей.

При возникновении расхождений расчетного и реально складывающегося хода процесса обработки, при изменении задания на плавку, при отклонениях эксплуатационных характеристик устройств, при изменениях в наличии материалов, изменении иных условий, возникающих в течении процесса обработки, блок проектирования осуществляет полный пересчет проекта плавки и соответственно управляющих воздействий. В случае невозможности реализации задания (например, невозможно выпустить плавку к заданному моменту времени) блок оптимизирует

плавку за минимально возможное время, но при этом выдаст рекомендации, при которых задание на плавку осуществимо в полном объеме.

При составлении проекта обработки стали блок проектирования опирается на результаты расчетов модулей прогноза химического состава, тепловых расчетов, расчета неметаллических включений.

Проект технологического процесса внепечной обработки передается для исполнения в виде команд исполнительным устройствам и подсистемам и рекомендаций оператору. Чем больше функций передано в автоматическое управление, тем выше эффективность системы.

Оператор (сталевар) в случае несогласия с предлагаемым системой ОРАКУЛ режимом обработки металла в любой момент может перейти в ручной режим управления.

Для функционирования системы ОРАКУЛ необходима следующая информация:

- данные о состоянии сталеразливочных ковшей для прогноза температуры стали после выпуска и расчета задания ОКПЛ по массе завалки и подвалок на следующую плавку (номер и масса ковша, количество наливов, температура футеровки ковша после сушки и время нагрева на стенде);
- фактическая масса ферросплавов и сыпучих, их тип и время отдачи при сливе стали в ковш, обработке на ПК;
- расход инертного газа при продувке стали в ковше во время слива, обработке на ПК и отстое;
- фиксация факта слива шлака из ковша перед подачей его на печь-ковш;
- текущая масса ковша;
- расход электроэнергии;
- расход вдуваемой порошковой извести;
- тип и расход проволоки при работе трайб-аппаратов.

#### **5.1.10. Тепловая модель МНЛЗ**

Разработка тепловой модели МНЛЗ позволит прогнозировать в зависимости от скорости разлива, температуры разливаемого металла, интенсивности теплообмена в кристаллизаторе и зоне вторичного охлаждения:

- температуру поверхности и толщину твердой корочки по длине слитка;
- глубину жидкого металла и полного затвердевания слитка;

- распределение температуры по поперечному сечению слитка;  
Основные функции тепловой модели в АСУТП «МНЛЗ-2»:
- определение рациональных режимов расхода воды по секциям с их плавным изменением и, соответственно, снижение неравномерности температурного поля по периметру слитка вдоль зоны вторичного охлаждения для уменьшения вероятности образования трещин и других дефектов;
- расчет максимально возможной скорости вытягивания для недопущения образования внутренних трещин, связанных с попаданием двухфазной области слитка в тянущие валки;
- анализ режимов работы МНЛЗ при изменении скорости вытягивания слитка (пуск машины, аварийная остановка и др.).

При прогнозе температуры стали в ковше во время разливки на МНЛЗ необходима следующая информация:

- время установки крышки на сталеразливочный ковш;
- текущая масса стали в сталеразливочном ковше во время разливки.

#### **5.1.11. Прогноз и управление составом неметаллических включений**

Существенное повышение качества металла и его служебных характеристик может быть достигнуто за счет управления неметаллическими включениями.

Предлагаемый модуль позволяет рассчитать количество и состав неметаллических включений (НВ), образующихся во время выплавки, легирования, раскисления, внепечной обработки, охлаждения и кристаллизации металла. Строгий учет влияния всех факторов позволяет реализовать и оптимизировать мероприятия по снижению общего количества НВ, произвести модификацию НВ с целью изменения их состава и формы. Система позволит снизить вероятность образования в ходе обработки определенного нежелательного типа НВ, например, приводящих к зарастанию разливочных стаканчиков (улучшение «разливаемости» металла).

В расчете используются следующие данные:

- химический состав, температура и окисленность металла и шлака до начала и в процессе обработки;
- количество и состав вводимых по ходу обработки материалов;
- внешнее давление (при вакуумировании);
- интенсивность вдувания газа и перемешивания ванны.

Данный модуль предназначен для интеграции в комплексную АСУТП «Печь-ковш», хотя является независимым модулем и может поставляться отдельно.

### **5.1.12. Система ситуационного управления**

Ситуационное управление предполагает оперативную реакцию системы на событие, момент наступления и характеристики которого нельзя определить заранее с точностью, необходимой для выработки адекватных управляющих воздействий на механизмы и устройства, участвующие в технологическом процессе.

При выплавки стали на ДСП к подобным событиям можно, например, отнести:

- изменения угла наклона печи;
- обвалы шихты;
- поломки электродов;
- «вскипание» ванны.

Предлагается оснастить комплексную АСУТП «ДСП-2» системой ситуационного управления, которая во взаимодействии с детерминированной моделью ОРАКУЛ позволит повысить качество управления выплавкой стали.

Далее более подробно освещены некоторые аспекты предлагаемой системы.

#### **5.1.12.1. Параметры слежения, используемые системой ситуационного управления**

Наиболее информативными параметрами слежения за ходом ТП в ДСП являются:

- гармонический состав тока фаз и акустических колебаний;
- положение и характер перемещения электродов;
- температура отходящих газов;
- температура охлаждающей воды различных элементов конструкций ДСП.

В настоящий момент доступны для анализа все перечисленные выше источники, кроме информации о положении электродов. Представляется целесообразным рассмотреть возможность организации получения непрерывной информации о положении и перемещении электрододержателей (задача может быть решена установкой датчиков перемещения электродов). Эта информация будет крайне полезна, например, для определения оптимального момента подвалки.

### **5.1.12.2. Оперативная оптимизация электрического и шлакового режима**

С наступлением заключительных фаз плавления лома периферийные слои шихты оседают и перестают экранировать стены и свод печи от излучения дуг, что приводит к возрастанию тепловых потерь. Температура футеровки, температура отходящих газов и потери тепла с охлаждающей водой также возрастают. В этом случае уменьшить потери возможно за счет экранирования дуги слоем вспененного шлака. Кроме того, в ходе плавки периодически возникают ситуации, когда дуга не полностью экранируется слоем шлака. Такие ситуации также могут быть распознаны системой ситуационного управления с выработкой соответствующих управляющих воздействий. Например, можно уменьшить длину дуги и/или изменить шлаковый режим. По мере увеличения слоя вспененного шлака необходимо оперативно изменять электрический режим в сторону значений, обеспечивающих необходимую скорость нагрева металла и/или минимальные потери. Оперативная оптимизация электрического и шлакового режима позволит достичь максимального КПД нагрева, сократить цикл плавки.

### **5.1.12.3. Оптимизация моментов подвалок**

Анализ проведенных плавков показал, что подвалки не всегда выполняются своевременно. Ранняя подвалка может привести к увеличению цикла плавки за счет «топтанья», а поздняя приводит к повышенным потерям, увеличению расхода энергоносителей и, как следствие, тоже к увеличению продолжительности плавки.

Система ситуационного управления позволит адекватно определять моменты проведения подвалок, что по предварительным оценкам позволит сократить длительность плавки на 1-3 % и уменьшить расход электроэнергии на 1-4 %.

### **5.1.13. Расчет потребностей производства**

Система ОРАКУЛ может быть использована в системе планирования и управления электросталеплавильным производством для перспективной оценки необходимого количества шихтовых материалов (лом, шлакообразующие, легирующие, раскислители) и энергоносителей для выполнения производственной программы цеха в соответствии с имеющимся портфелем заказов. Это позволит провести также сравнительные расчеты целесообразности приобретения и использования тех или иных материалов в соответствии с их стоимостью и химическим составом.

Внедрение такого модуля будет способствовать обеспечению бесперебойной работы цеха.

#### **5.1.14. Оптимизация загрузки агрегатов цеха**

Наличие системы моделирования и управления на каждом агрегате электросталеплавильного производства позволит реализовать в итоге эффективную Систему Оптимизации Технологического Процесса (СОТП) выплавки и обработки стали по всей технологической цепочке от ОКПЛ до прокатного стана. Такая система может обеспечить согласованный режим работы основных агрегатов цеха, сократить продолжительность выплавки и обработки металла, снизить производственные затраты, организовать работу оборудования без простоев агрегатов и без очередей ковшей с максимизацией количества плавков, разлитых «плавка на плавку».

#### **5.1.15. Режим «что-если»**

Система ОРАКУЛ имеет открытую структуру, что позволяет в дальнейшем использовать ее в «настольном» варианте технологическим персоналом ЭСПЦ и ТО для решения следующих задач:

- изменение цели оптимизации: использование в качестве целевой функции не только минимизацию стоимости набора используемых при обработке материалов, но и минимизацию себестоимости передела, достижение максимальной производительности, сокращение (или увеличение - для согласования работы смежных переделов) времени обработки металла, минимизацию количества неметаллических включений определенного типа или любая комбинация ряда целевых функций с приданием каждой из них определенного «веса»;
- учет внедрения дополнительных устройств на агрегатах и/или изменение параметров и исключение действующих;
- синхронизация работы агрегатов со смежными переделами (система согласования работы агрегатов);
- оснащение системой оптимизации технологического процесса (АРМ технолога), позволяющей в интерактивном режиме проводить ретро- и перспективные анализы работы агрегата, «проиграть» на компьютере различные изменения в технологическом процессе (включая оснащение дополнительными или

исключение каких-либо используемых устройств, применение новых материалов и т.п.) и выбрать наиболее рациональное решение;

- использование результатов расчетов системы ОРАКУЛ при решении задач планирования и управления производством (оценка возможности изготовления и себестоимости передела тех или иных марок стали, эффективности использования различных материалов и др.).
- разработка на базе системы ОРАКУЛ модуля имитационного моделирования реального сталеплавильного агрегата (в том числе в мультимедийных приложениях) для обучения технологического персонала приемам работы на агрегатах сталеплавильного цикла (так называемый «тренажер сталевара»).



## 6. Организационные аспекты совершенствования системы

Эффективность развития и совершенствования системы ОРАКУЛ на ММЗ во многом определяется степенью участия и заинтересованности в этом процессе специалистов завода. Приложение имеющихся наработок из области теоретической металлургии на практике даст наилучшие результаты только при учете накопленного предприятием опыта на всех участках технологической схемы производства стали.

Целесообразно совместное планирование развития комплексной АСУТП ЭСПЦ с поэтапной интеграцией в нее пакета ОРАКУЛ. Первым результатом совместного планирования могут стать Основные направления развития Комплексной АСУТП электросталеплавильного производства на период 2001-2005 гг, в которых будут определены цели, задачи и этапы работы.

Выполнение работ на каждом этапе включает:

- Определение технических и экономических задач работы;
- Создание общего проекта системы и спецификации;
- Разработка программ и реализация необходимого технического обеспечения;
- Установка системы на действующем производстве, отладка программно-аппаратного комплекса;
- Опытно-промышленная эксплуатация и оценка эффективности выполненных работ;
- Принятие решения о выполнении следующего этапа работ;
- Обучение персонала;

Спецификация включает в себя требования к системе ОРАКУЛ с технологической и производственной точек зрения:

- функциональное описание системы, определяющее основные практические требования, такие как перечень функций автоматизации, основные принципы действия, регламент работы и др.;
- описание требований к оборудованию и интерфейсу;
- определение контрольных показателей и методики сдаточных испытаний.

При создании общего проекта система должна быть описана с точки зрения проектировщиков-программистов на уровне алгоритмов.

Разработка общего проекта системы включает выполнение следующих работ:

- разработка структурной схемы системы с указанием порядка работы и взаимодействия подсистем;

- проектирования системы данных;
- описание интерфейса и взаимодействия со смежными подсистемами и базами данных существующей АСУТП;
- создание методики автономных и комплексных испытаний системы.

На данном этапе должен быть проведен весь объем научно-исследовательских работ, необходимых для точного описания специфики агрегатов и технологических процессов.

В процессе разработки прикладных программ проводятся автономные испытания создаваемых модулей системы. Затем проводятся комплексные испытания системы с помощью специальных программ-имитаторов.

В процессе установки и отладки системы проводятся следующие работы:

- установка производственного оборудования;
- установка стандартного программного обеспечения;
- установка прикладных программ системы;
- испытания, при необходимости, отладка взаимодействия со смежными системами;
- функциональные испытания и отладка прикладных программ системы в параллельном режиме.

Пуск в эксплуатацию включает передачу функций управления технологическим процессом системе и реализация их в автоматическом режиме. Этап завершается демонстрацией способности системы управлять процессом в автоматическом режиме, передачей документации на систему и оформлением окончания работ по проекту.

Целями обучения являются:

- обучение технологического персонала работе в автоматическом режиме;
- обучение персонала АСУТП работе с системой.

Обучение персонала может осуществляться параллельно с выполнением работ на стадиях разработки программного обеспечения и установки и отладки системы.

## 7. Заключение

1. Работы, предусмотренные договором №ТО-16119 от 05.10.1999г. выполнены в полном объеме.

2. Эффективность выполненных работ не ниже взятых обязательств. Ориентировочный срок окупаемости затрат – 2 – 2.5 месяца.

3. Производство на ММЗ характеризуется высокими эффективностью, технологической культурой и дисциплиной, а также передовым уровнем автоматизации, но существуют возможности дальнейшего совершенствования сталеплавильного производства ЭСПЦ.

4. Поэтапная интеграция системы ОРАКУЛ в Комплексную АСУТП ЭСПЦ может способствовать эффективному решению задач автоматизации сталеплавильного производства. Основная особенность такой интеграции – быстрая окупаемость на каждом этапе.

5. Разработчики системы ОРАКУЛ готовы принять участие в развитии систем автоматического управления ММЗ и заинтересованы в том, чтобы рассматривать уже созданную и создаваемые на ММЗ версии пакета ОРАКУЛ в качестве базовых. Предлагаемые направления дальнейшего развития АСУТП ЭСПЦ с применением в ней системы ОРАКУЛ:

- внепечная обработка: легирование на сливе и обработка на установке пель-ковш;
- оптимизация режимов работы вспомогательного оборудования;
- оптимизация шихтовки плавки;
- оптимизация энерготехнологического режима;
- модернизация АСУТП ОКПЛ;
- самообучающаяся система ведения плавки;
- система учета и управления разогревом ковшей;
- тепловая модель МНЛЗ;
- прогноз и управление составом неметаллических включений;
- система ситуационного управления;
- расчет потребностей производства;
- оптимизация загрузки агрегатов цеха;
- режим «что-если».