

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ

АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ

СИСТЕМЫ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИТУАЦИЙ ДОМЕННОГО

ЦЕХА

С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ

УПРАВЛЕНИЯ

КОМПЛЕКСОМ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

Лавров Владислав Васильевич

кандидат технических наук,

доцент кафедры «Теплофизика и информатика в металлургии»

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н.Ельцина» (г.Екатеринбург)

E-mail: lv@tim.ustu.ru E-mail: lv@tim.ustu.ru. Web:

<http://vlavrov.professorjournal.ru>



Цель работы

Повышение эффективности управления комплексом доменных печей путем разработки автоматизированной информационной системы анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха

Задачи работы

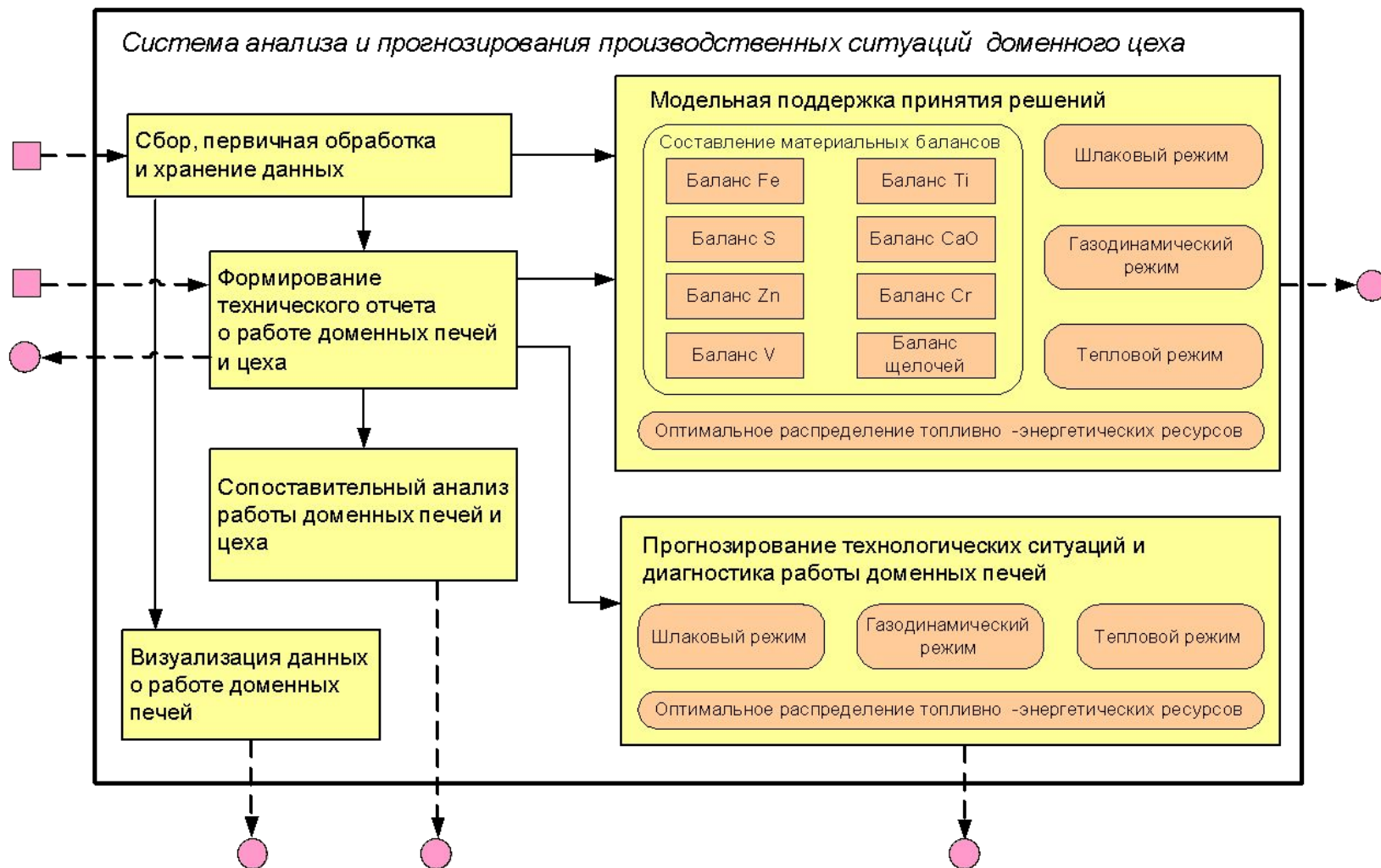
1. Разработка **функциональной модели** автоматизированной информационной системы анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха (АИС АППС ДЦ) с учетом требований инженерно-технологического персонала. Разработка структуры подсистем, реализующих функции АИС АППС ДЦ.
2. Разработка **математического, алгоритмического и информационного обеспечения** для формирования набора отчетных показателей работы доменных печей и цеха, решения технологических задач по управлению газодинамическим и шлаковым режимами доменной плавки, оптимального распределения топливно-энергетических ресурсов в группе доменных печей.
3. **Инфологическое моделирование базы данных** АИС АППС ДЦ с использованием современной технологии и CASE-средств реализации, обеспечивающих эффективную организацию и сопровождение специализированного информационного и программного обеспечения системы, а также ее интеграцию в существующую информационную структуру металлургического предприятия.
4. **Реализация, тестирование и отладка программного обеспечения подсистем** сбора, отображения данных, формирования и сопоставления отчетных показателей о работе доменных печей и цеха, модельных систем оценки теплового, газодинамического и шлакового режимов доменной плавки, оптимального распределения топливно-энергетических ресурсов в группе доменных печей. Внедрение АИС АППС ДЦ в производство.

Автоматизированная система анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха

Разработка системы

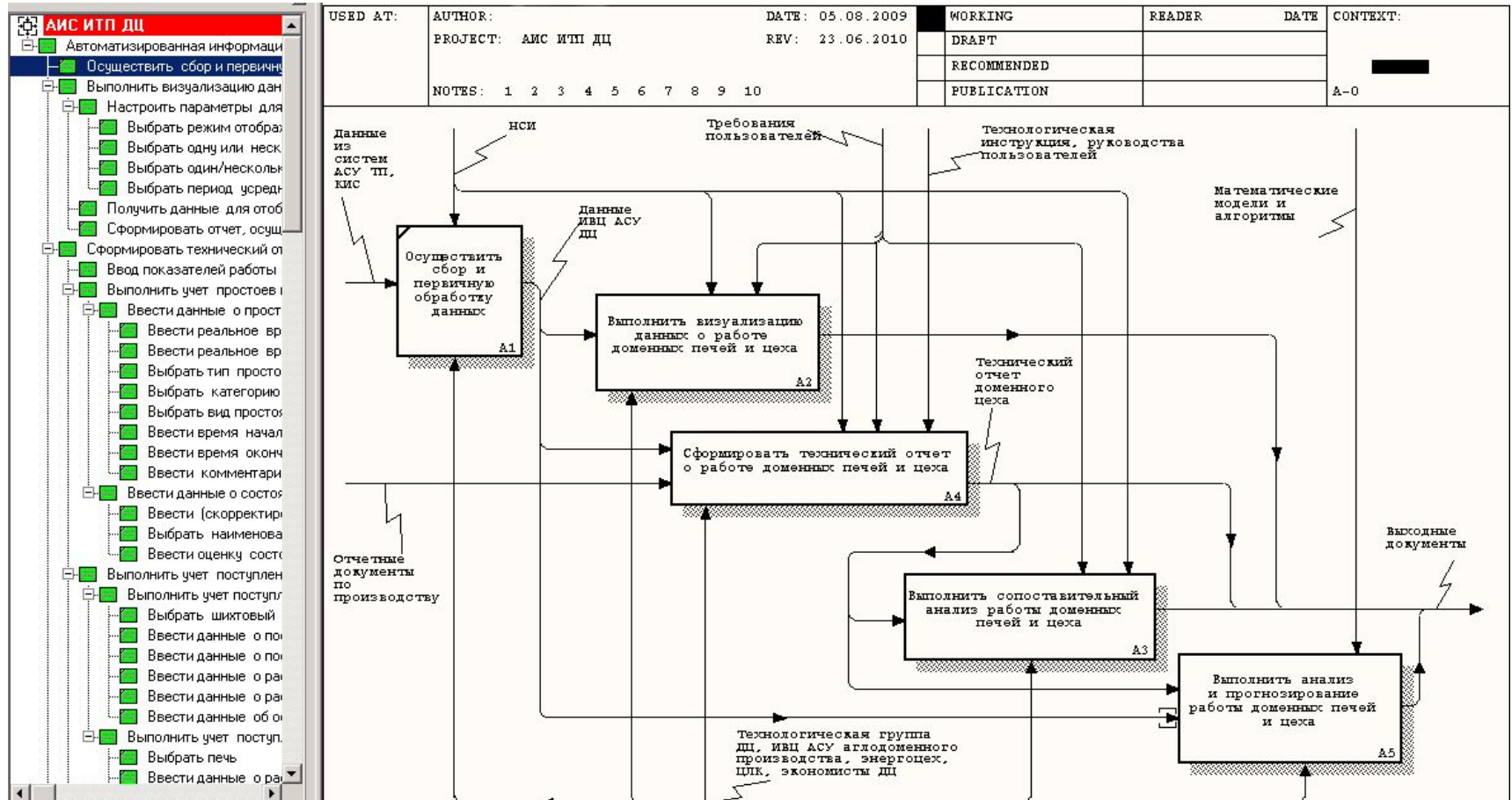
Описание подсистем

Функциональная структура системы

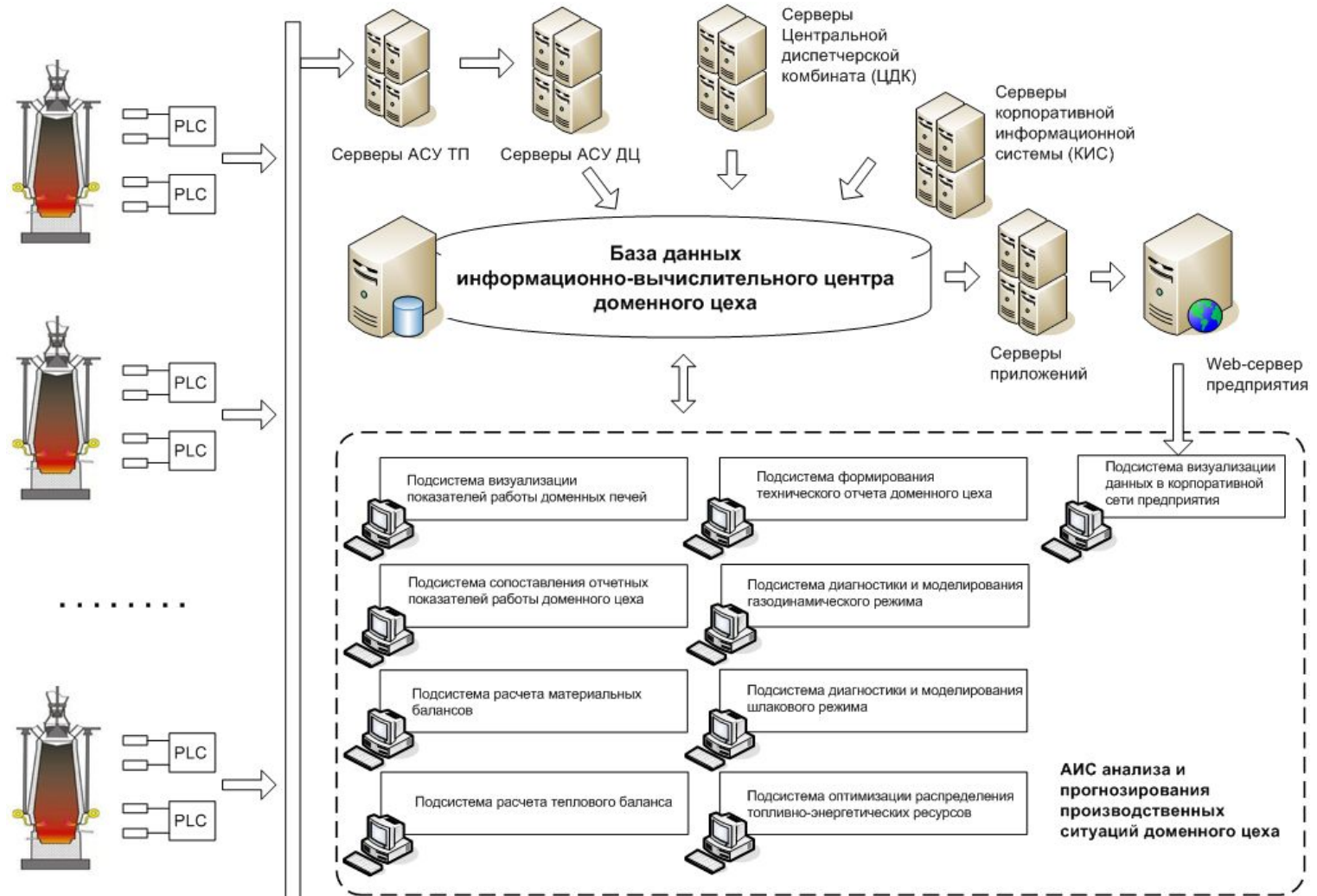


■ – источник данных; ● – представление данных

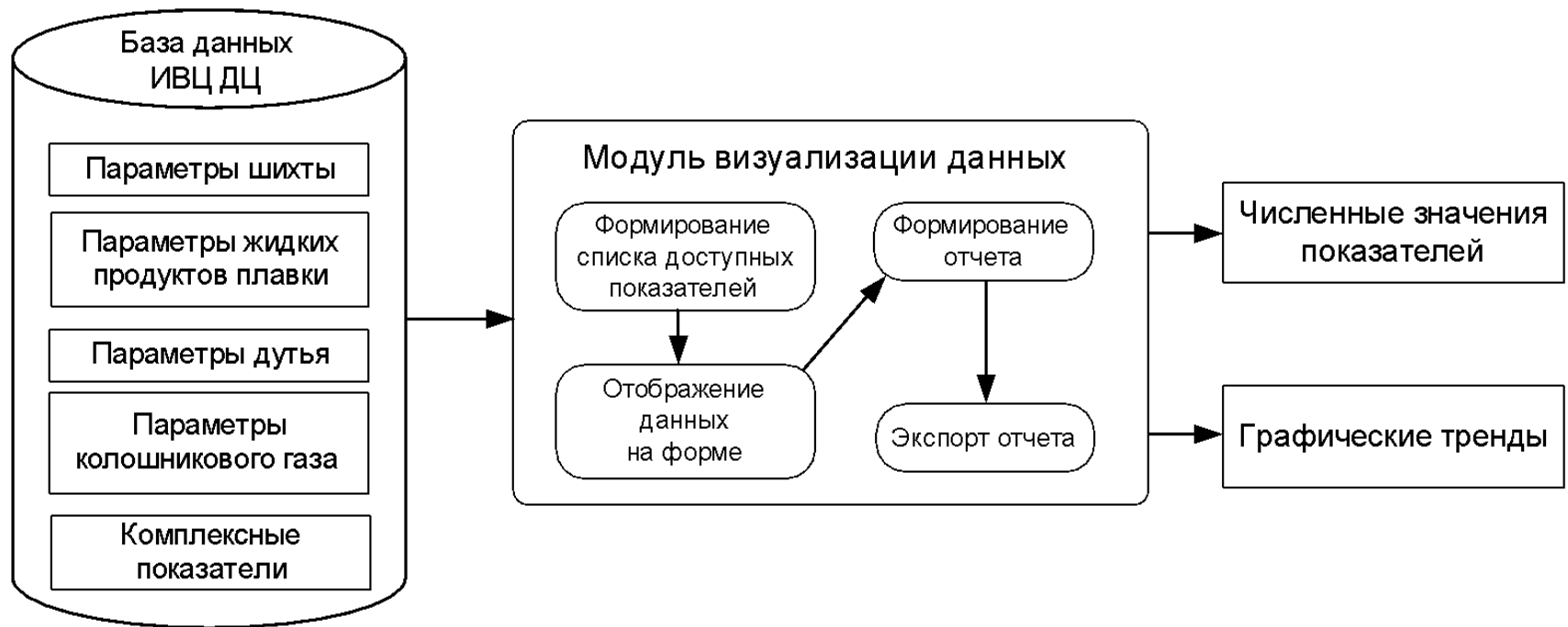
Фрагмент функциональной модели системы (уровень А0)



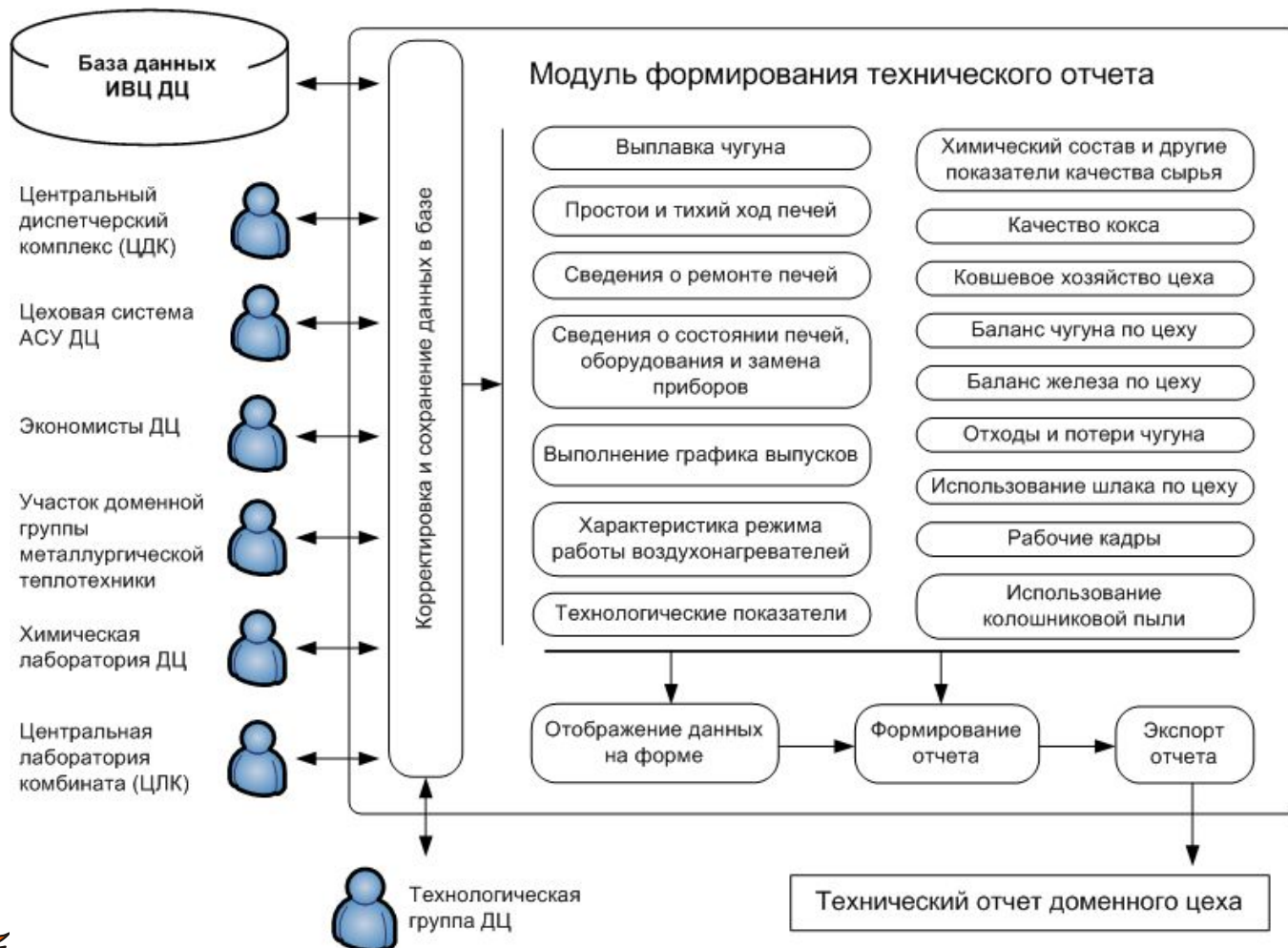
Структура подсистемы сбора данных



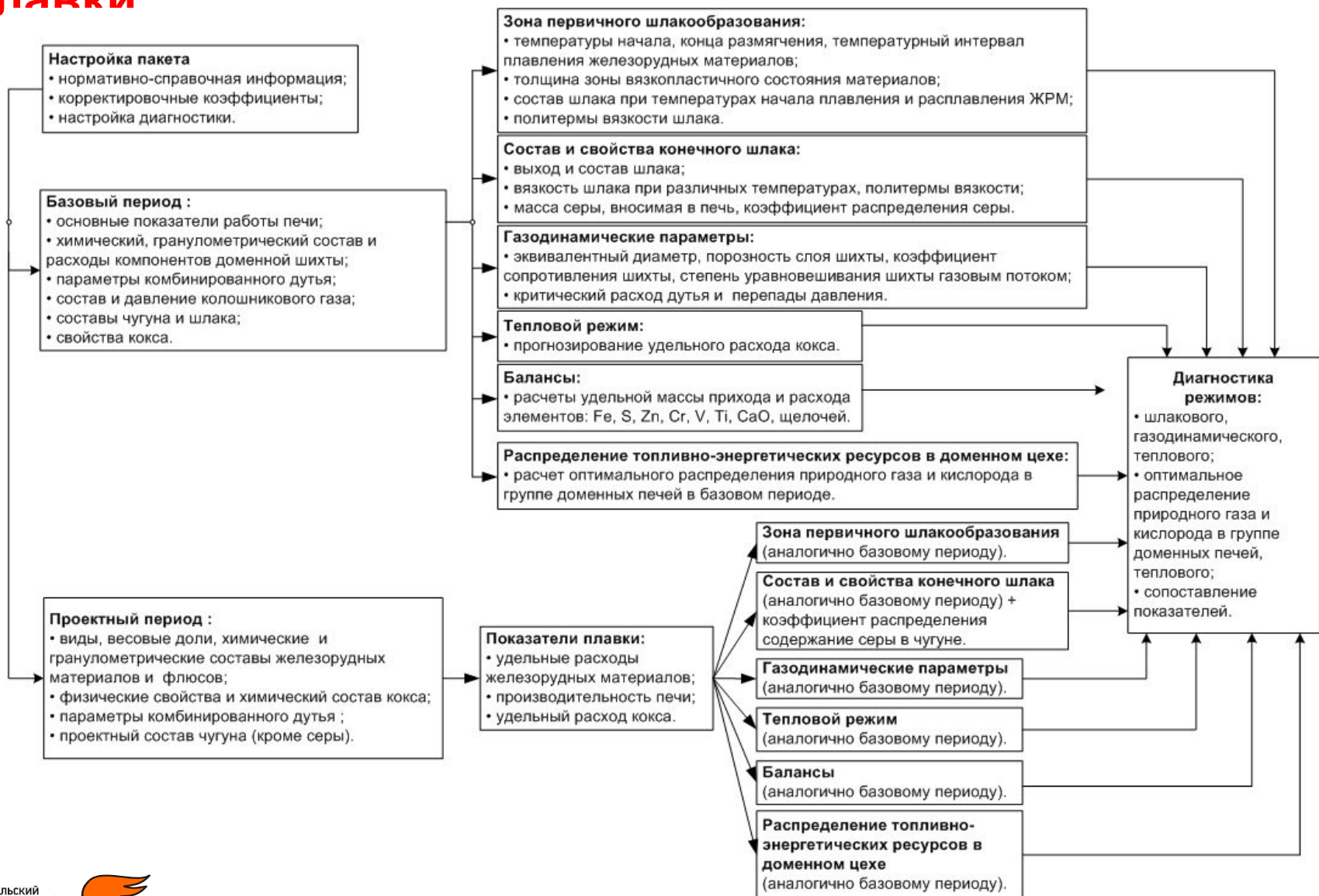
Структура подсистемы визуализации данных



Структура подсистемы формирования технического отчета доменного цеха



Структура подсистемы моделирования доменной плавки



Обобщенная структура базы данных системы

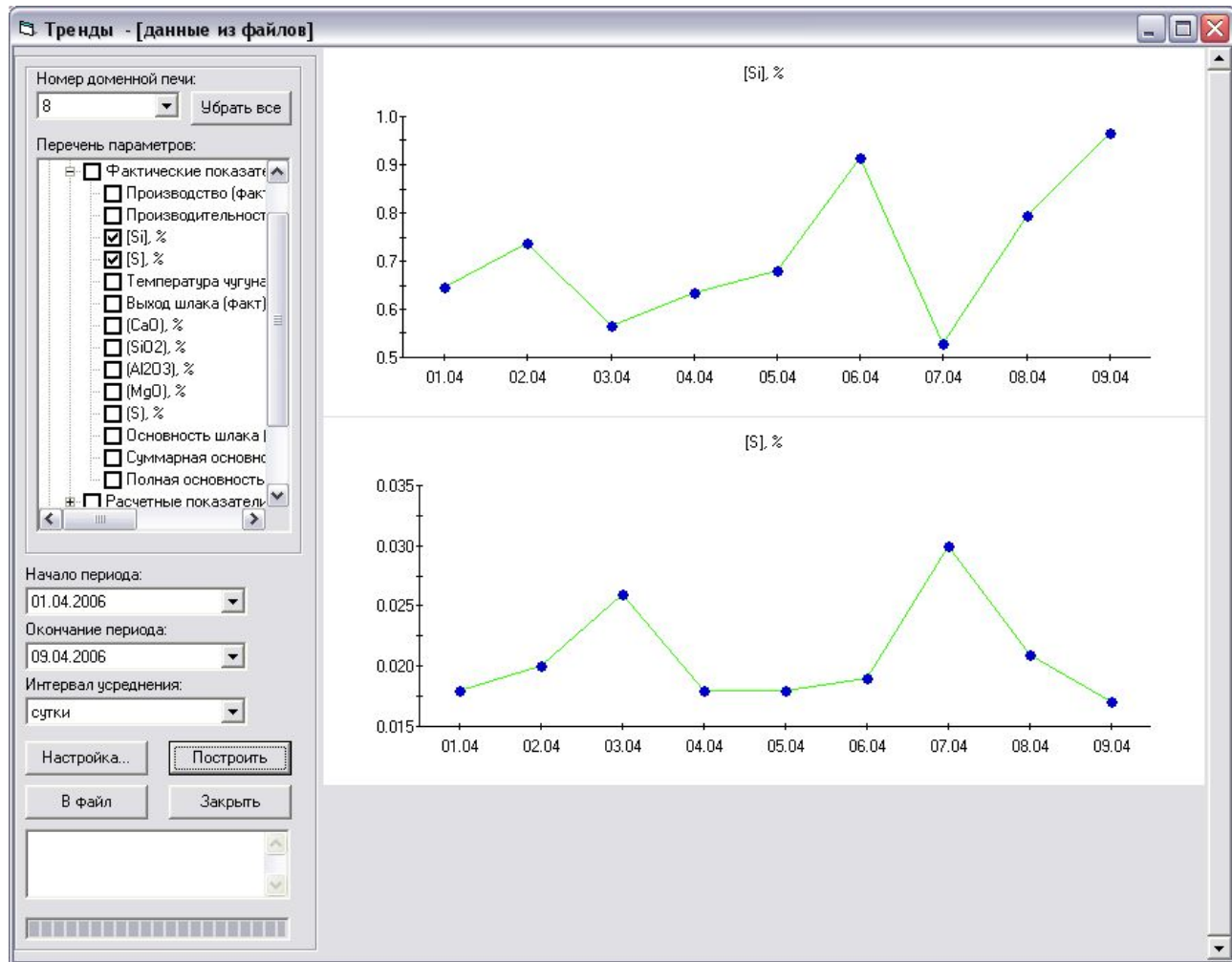


Автоматизированная система анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха

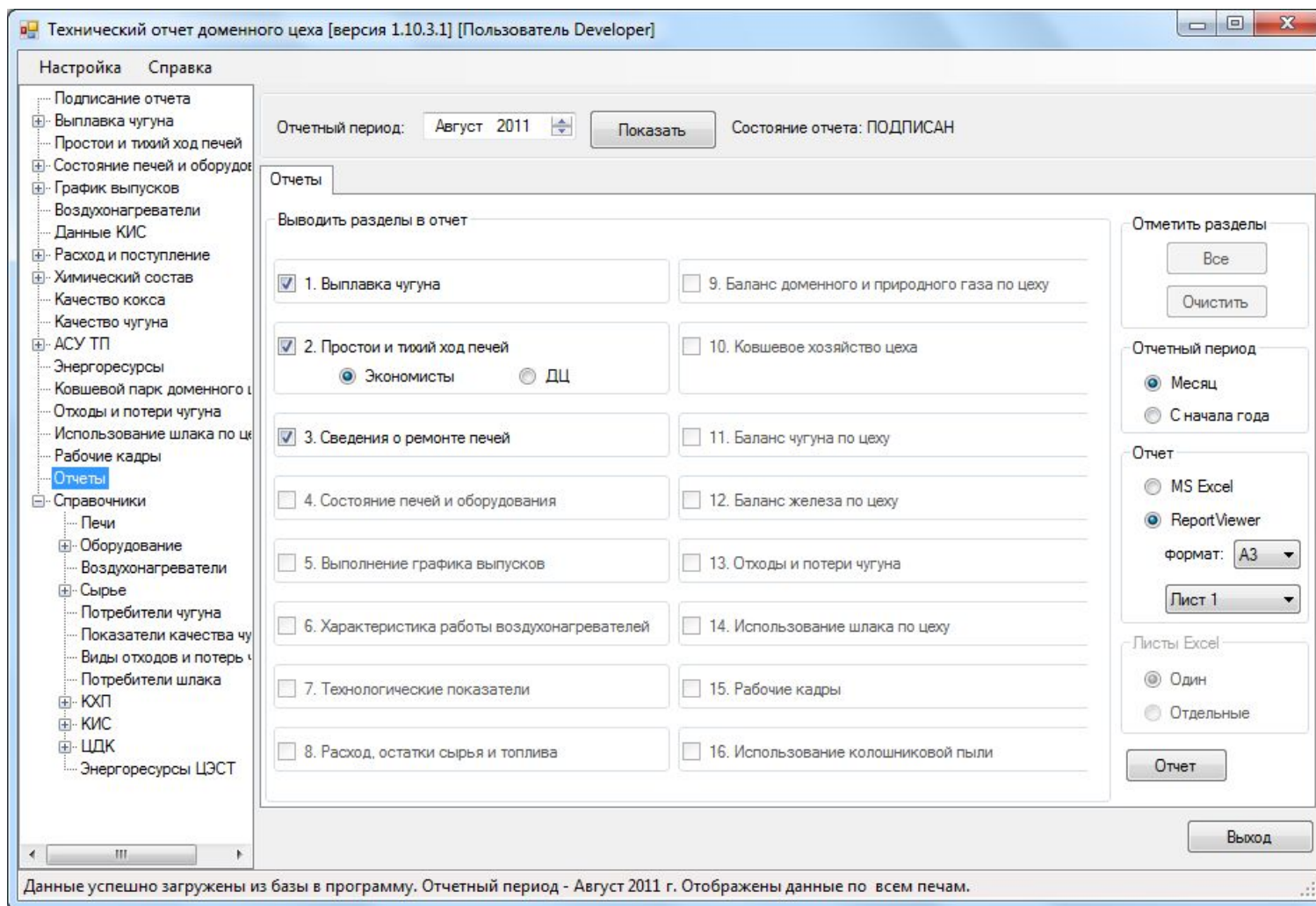
Разработка системы

Описание подсистем

Подсистема визуализации среднесменных и среднесуточных показателей работы доменных печей



Подсистема формирования технического отчета доменного цеха



Подсистема оценки газодинамического режима доменной плавки (базовый период)

Газодинамика доменных печей ОАО "ММК" [версия 1.11.9.5]

Файл Данные Результаты Отчет Настройки Помощь

Базовый период

Месяц: Август 2011 Печь: 1 Обновить

Отобразить период

Базовый Сравнительный Проектный

Сравнительный период

Отобразить данные

Отчетный месяц: Июль 2011 Доменная печь: 1 Обновить

Расчет и сопоставление

Исходные данные в сравнительном периоде

Содержание С в природном газе, м3/м3	1
Содержание H2 в природном газе, м3/м3	2
Жидкие продукты доменной плавки: чугун	
[Si], %	0,725
[S], %	0,025
[Mn], %	0,532
[P], %	0,075
[Ti], %	0,077
[Cr], %	0,053
[C], %	4,659
Колошниковый газ	
Температура, °C	302
CO2, %	18,37
CO, %	24,8
H2, %	9,13
Параметры известняка	
Расход, т/т чугу.	0
ПМПП, % масс.	0
Режимные параметры плавки	
Производительность, т чугуна/сут.	3358,03
Удельный расход кокса, кг/т чугуна	428,7
Производительность, т чугуна/сут.	
Суточная производительность доменной печи, т/сут.	

Данные успешно загружены из базы в программу. Сравнительный период - Июль 2011 г. П



Газодинамика доменных печей ОАО "ММК" [версия 1.11.9.5]

Файл Данные Результаты Отчет Настройки Помощь

Базовый период

Месяц: Август 2011 Печь: 1 Обновить

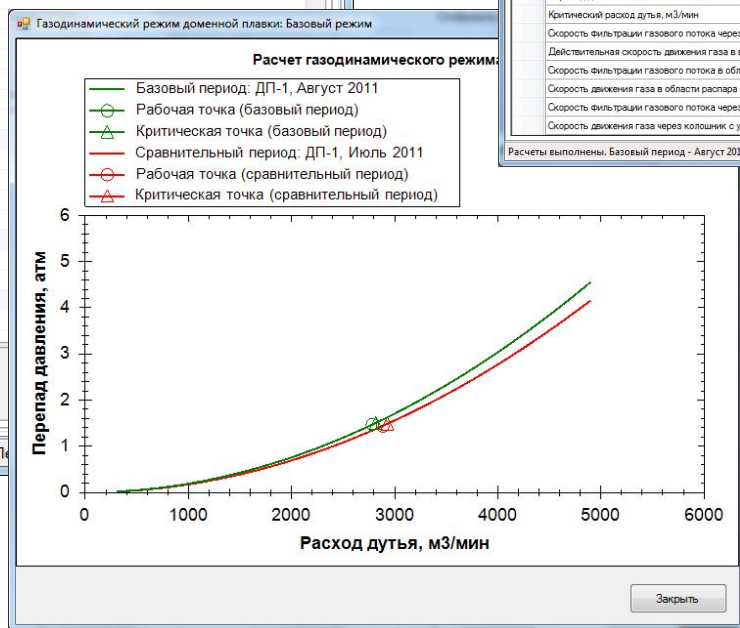
Отобразить период

Базовый Сравнительный Проектный

Сопоставление газодинамики в базовом и сравнительном периодах:

Наименование параметра, единицы измерения	Величина (базовый период)	Величина (сравнительный период)	Отклонение (базовый-сравнительный)
Насынная масса слоя кокса, т/м3	0,47	0,467	0,003
Насынная масса слоя шихты, т/м3	1,147	1,13	0,017
Объемные доли компонентов шихты: агломерат, м3/м3	0,328	0,357	-0,029
Объемные доли компонентов шихты: окатыши, м3/м3	0,171	0,138	0,033
Объемные доли компонентов шихты: кокс, м3/м3	0,501	0,505	-0,004
Порозность слоя шихты в верхней зоне печи, м3/м3	0,429	0,432	-0,003
Эквивалентный диаметр куска шихты в верхней зоне, м	23,527	22,113	1,414
Высота слоя шихты в верхней зоне печи, м	15,45	15,45	0
Средняя температура в верхней зоне, °C	656,5	651	5,5
Абсолютное среднее давление в верхней зоне, атм	2,739	2,743	-0,004
Коэффициент сопротивления слоя шихты в верхней зо...	0,077	0,071	0,006
Коэффициент пропорциональности между минутным р...	44,543	45,514	-0,971
Коэффициент сопротивления в верхней зоне доменной...	0	0	0
Активная высота слоя шихты, продуваемая газами, м	20,75	20,75	0
Степень уравнивания шихты, %	48,508	47,191	1,317
Перепад давления газов по высоте слоя шихты, атм	1,507	1,485	0,022
Критический расход дутья, м3/мин	2818,413	2928,477	-110,064
Скорость фильтрации газового потока через верхнюю ...	1,119	1,136	-0,017
Действительная скорость движения газа в верхней ча...	5,525	5,614	-0,089
Скорость фильтрации газового потока в области расп...	0,879	0,891	-0,012
Скорость движения газа в области распора с учетом д...	4,482	4,403	0,079
Скорость фильтрации газового потока через колошник...	1,826	1,852	-0,026
Скорость движения газа через колошник с учетом дей...	3,852	3,81	0,042

Расчеты выполнены. Базовый период - Август 2011 г.



Подсистема оценки газодинамического режима доменной плавки (проектный период)

Газодинамика доменных печей ОАО "ММК" [версия 1.11.9.5]

Файл Данные Результаты Отчет Настройки Помощь

Базовый период
Месяц: Август 2011 Печь: 1 Обновить

Отобразить период
 Базовый Сравнительный Проектный

Корректировка показателей в проектном периоде

Характеристики ЖРМ Изменить...

Агломерат

Эквивалентный диаметр куска, мм
База: 9,86 Проект: 9,86

Порозность слоя, м³/м³
База: 0,405 Проект: 0,405

Окатыши

Эквивалентный диаметр куска, мм
База: 13,18 Проект: 13,18

Порозность слоя, м³/м³
База: 0,388 Проект: 0,388

Кокс Изменить...

Эквивалентный диаметр куска, мм
База: 54,3 Проект: 55,9

Порозность слоя, м³/м³
База: 0,46 Проект: 0,463

Уровень засыпки, м
База: 1,7 Проект: 1,7

Параметры комбинированного дутья

Расход природного газа, м³/т чугуна
База: 112,4 Проект: 112,5

Содержание кислорода в дутье, %
База: 26,53 Проект: 26,42

Температура дутья, С
База: 1199 Проект: 1199

Влажность дутья, г/м³
База: 2,3 Проект: 1,8

Автоматически установить проектный период

Задайте данные в проектном периоде

Предварительный просмотр отчета

Показатель	1, JVI	1, JVI
Критический расход дутья, м ³ /мин	2818,413	2732,02
Скорость фильтрации газового потока через верхнюю часть горна при н.у., м/с	1,119	1,154
Действительная скорость движения газа в верхней части горна печи, м/с	5,525	5,723
Скорость фильтрации газового потока в области распара печи, м/с	0,879	0,905
Скорость движения газа в области распара с учётом действительных параметров газа и учётом порозности слоя, м/с	4,482	4,421
Скорость фильтрации газового потока через колошник печи, м/с	1,826	1,881
Скорость движения газа через колошник с учётом действительных параметров газа и с учётом порозности слоя, м/с	3,852	3,811

Влияние факторов в проектном периоде

	Верхний перепад давления, атм	Нижний перепад давления, атм	Общий перепад давления, атм	Расход дутья, м ³ /мин.	Производительность, т/сут. / Прирост, %	Расход кокса, кг/т чугу. / Экономия, %
Базовая величина	0,441	1,029	1,47	2783	3327,74 / 0	428,1
Влияние уровня засыпки	0,441	1,029	1,47	2783	— / 0	
Влияние параметров комбинированного дутья	0,45	1,046	1,496	2759	— / -0,97	
Влияние свойств шихты	0,26	1,029	1,289	2973	— / 7,52	
Итоговая проектная величина	1,15	3,104	4,255	2973	3334,29 / 6,55	435,46 / -1,72



Подсистема оценки шлакового режима доменной плавки (базовый период)

Шлаковый режим доменных печей ОАО "ММК" [версия 1.11.9.3]

Данные - Результаты - Отчет - Настройка - Помощь

Базовый период
Отчетный месяц: Август 2011 Домменная печь: дп 1 Обновить

Отобразить период
 Базовый Сравнительный Проектный

Сравнительный период
Выберите сравнительный период
Отчетный месяц: Июль 2011 Домменная печь: дп 1 Обновить

Расчет и сопоставление

Исходные данные в сравнительном периоде

Содержание MnO, %	0,000
Содержание P, %	0,000
Содержание PMPP, %	0,000
Содержание S, %	0,000
Содержание SiO2, %	97,500
Содержание TiO2, %	0,000
Режимные параметры	
Выход коллоидной пыли, кг/т чугуна	29,600
Масса шихты, кг/т чугуна	1712,400
Производительность печи, т/сут.	3358,030
Расход железа из рудной части шихты, кг/т чугуна	975,800
Содержание Fe в железорудной части шихты, %	57,890
Удельный расход кокса, кг/т чугуна	428,700
Состав и показатели кокса	
Al2O3, %	24,980
Al2O3, %	

Данные успешно загружены из базы в программу. Сравнительный период - Июль 2011 г. Печь: дп 1



Шлаковый режим доменных печей ОАО "ММК" [версия 1.11.9.3]

Данные - Результаты - Отчет - Настройка - Помощь

Базовый период
Отчетный месяц: Август 2011 Домменная печь: дп 1 Обновить

Отобразить период
 Базовый Сравнительный Проектный

Результаты расчета шлакового режима (сопоставление периодов)

Наименование показателя, ед. изм.	Величина в базовом периоде	Величина в проектном периоде	Отклонение (базис проект)
Производительность печи, т/сут.	3328	3358	-30
Удельный расход кокса, кг/т чугуна	428,1	428,7	-0,6
Выход шлака (фактический), кг/т чугуна	361,4	352,7	8,7
Расход Fe из рудной части шихты, кг/т чугуна	991,7	975,8	15,9
Масса шихты, кг/т чугуна	1745,7	1712,4	33,3
Содержание Fe в железорудной части шихты, %	53,24	52,81	0,43
Содержание Fe в рудной части шихты, %	53,24	52,81	0,43
Выход коллоидной пыли, кг/т чугуна	37,5	29,6	7,9
Параметры дутья:			
давление, атм.	2,84	2,81	0,03
температура, °C	1199	1199	0
влажность, г/кг3	2,3	1,8	0,5
содержание кислорода, %	26,5	26,4	0,1
расход природного газа, м3/т чугуна	112,4	112,5	-0,1
Температура, °C:			
чугуна	1470	1470	0
шлака (расчетная)	1523	1523	0
средняя продуктов плавки	1496	1496	0

Расчеты выполнены. Базовый период - Август 2011 г.



Свойства конечного шлака

Базовый период

Состав шлака, %

	Фактический	Расчетный
CaO	36,7	37,533
SiO2	36,81	37,888
Al2O3	13,22	13,8
MgO	8,64	7,968
S	0,81	0,709
TiO2	1,18	1,203
CaO/SiO2	0,997	0,991

Градиенты вязкости, пуаз/°C

в диапазоне 7-25 пуаз	0,162
в диапазоне 1400-1500 °C	4,647

Температура шлака, °C

при вязкости 7 пуаз	1422
при вязкости 25 пуаз	1311

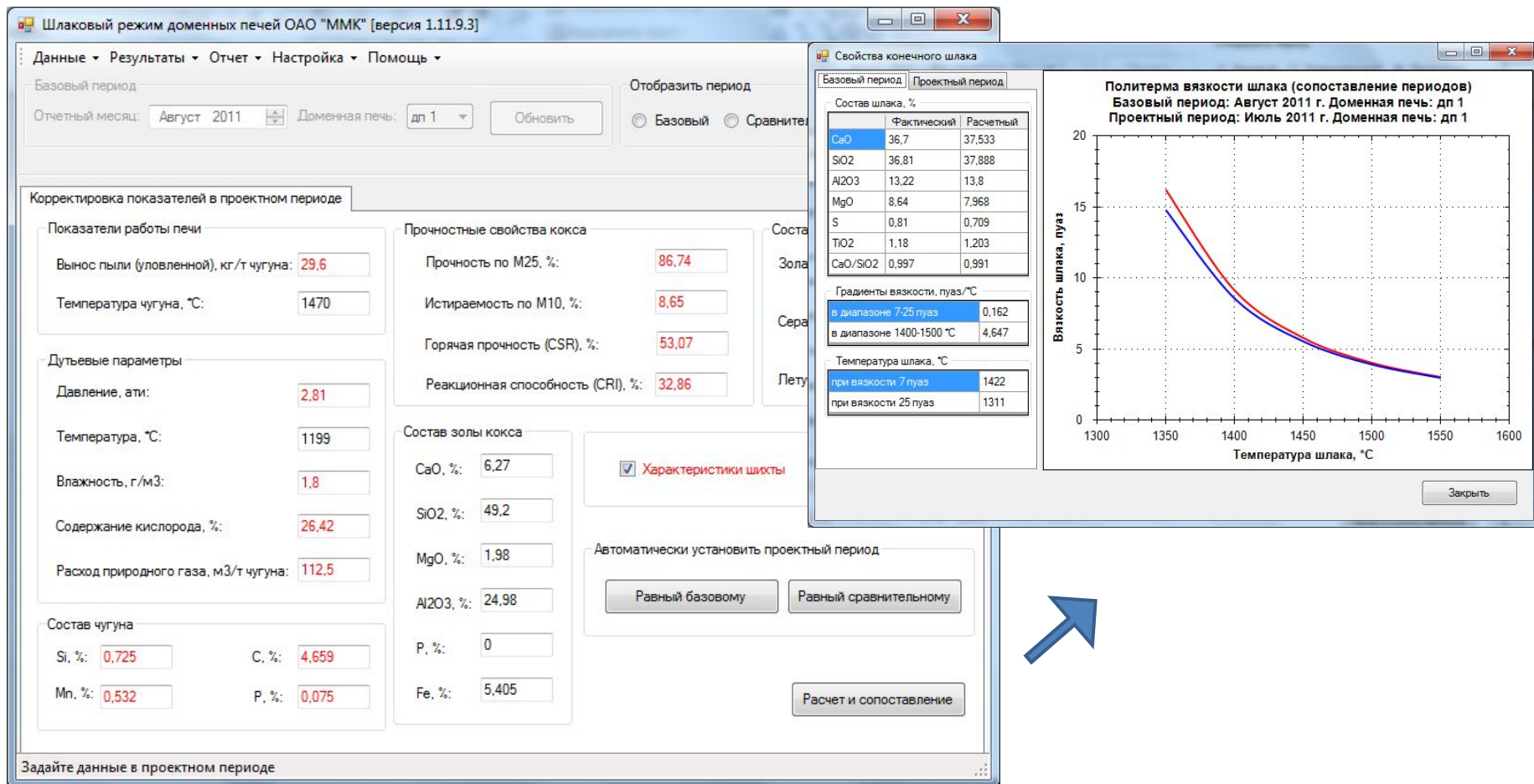
Политерма вязкости шлака (базовый период)
Период: Август 2011 г.
Домменная печь: дп 1

Вязкость шлака, пуаз

Температура шлака, °C

Заккрыть

Подсистема оценки шлакового режима доменной плавки (проектный период)



Подсистема расчета теплового баланса доменной плавки

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ [версия 1.11.1.1]

Файл Результаты Отчет Справка

Сохранить Данные Результаты Диаграмма Отчет Выход

Данные из Центра АСУ ДП

Месяц: Август 2011 Печь: 1 Обновить

Исходные данные

Дутьевые параметры

Расход, м3/мин.	2783,33
Температура, °C	1199
Влажность, г/м3	2,3
Естественная влажность дутья (зависит от в:	11
Содержание кислорода, %	26,53
Расход природного газа, м3/т чугуна	112,4
Состав природного газа: CH4, %	100
Состав природного газа: C2H6, %	0
Состав природного газа: CO2, %	0
Содержание C в природном газе, м3/м3	1
Содержание H2 в природном газе, м3/м3	2

Жидкие продукты доменной плавки: чугун

[Si], %	0,728
[Mn], %	0,5

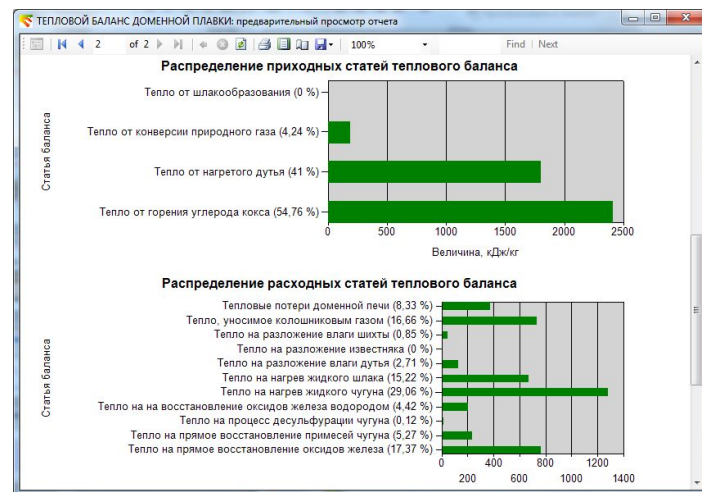
[Si], %
Содержание кремния в чугуне, [Si], % (масс.)

Данные сохранены в файле default.xml

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ: предварительный просмотр отчета

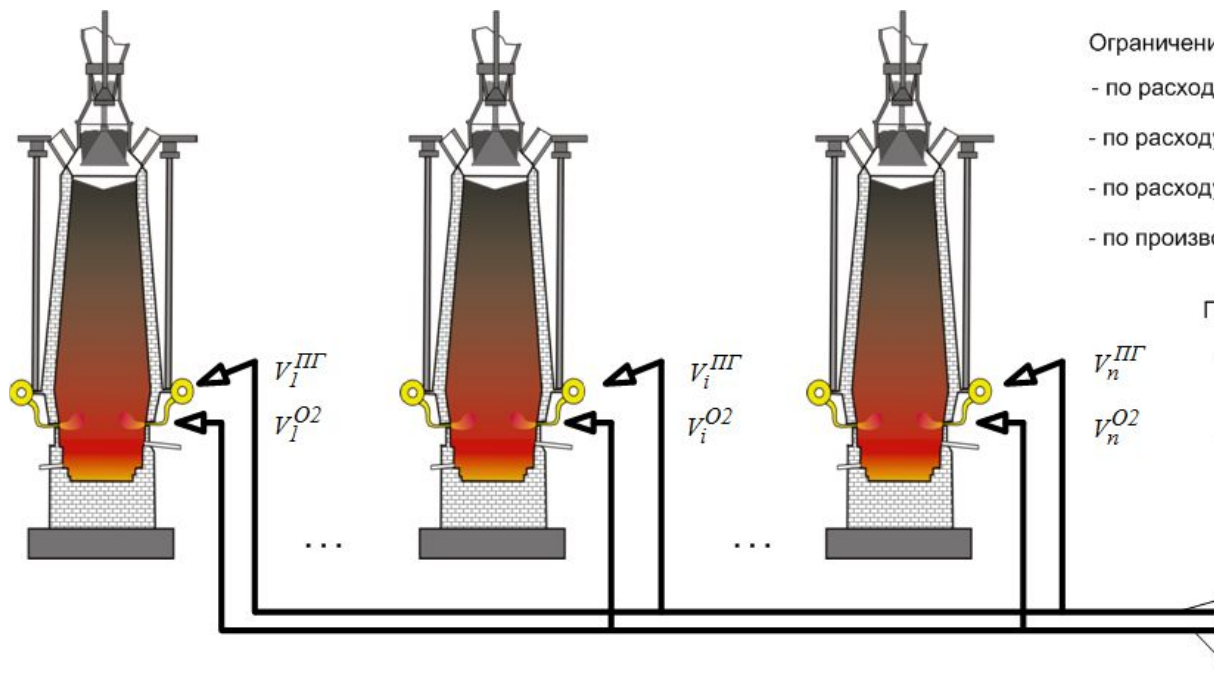
Доменная печь № 1 Отчетный период: Август 2011 г.

№ п/п	Статьи прихода тепла	кДж/кг	%	№ п/п	Статьи расхода тепла	кДж/кг	%
1.	Количество тепла, получаемого при горении угля кокса	2408,18	54,76	1.	Расход тепла на прямое восстановление оксидов железа	763,8	17,37
2.	Количество тепла от нагретого дутья	1803,16	41	2.	Расход тепла на прямое восстановление примесей чугуна	231,54	5,27
3.	Количество тепла от конверсии природного газа	186,25	4,24	3.	Расход тепла на процесс десульфурации чугуна	5,08	0,12
4.	Количество тепла от шлакообразования	0	0	4.	Расход тепла на восстановление оксидов железа водородом	194,33	4,42
				5.	Расход тепла на нагрев жидкого чугуна	1278	29,06
				6.	Расход тепла на нагрев жидкого шлака	669,4	15,22
				7.	Расход тепла на разложение влаги дутья	118,99	2,71
				8.	Расход тепла на разложение известняка	0	0
				9.	Расход тепла на разложение влаги шихты	37,47	0,85
				10.	Расход тепла, уносимое колосниковым газом	732,66	16,66
				11.	Тепловые потери доменной печи	366,3	8,33
	Итого	4397,59	100		Итого	4397,59	100



Подсистема оптимального распределения топливно-энергетических ресурсов в группе доменных печей

К постановке задачи



Ограничения на работу цеха:

- по расходу кокса $\sum K_i \leq K_{\Sigma}$
- по расходу природного газа $\sum V_i^{III} \leq V_{\Sigma}^{III}$
- по расходу кислорода $\sum V_i^{O2} \leq V_{\Sigma}^{O2}$
- по производству чугуна $\sum \Pi_i \geq \Pi_{\Sigma}$

Прямые ограничения на печи:

- на расход природного газа $V_{i \min}^{III} \leq V_i^{III} \leq V_{i \max}^{III}$
- на расход кислорода $V_{i \min}^{O2} \leq V_i^{O2} \leq V_{i \max}^{O2}$

Тепловое состояние верхней зоны печи:
(отношение теплоемкостей потоков шихты и газа в верхней ступени теплообмена)

$$m_{i \min} \leq m_i \leq m_{i \max}$$

Показатель теплового состояния низа печи

$$Q_{ni}^{\min} \leq Q_{ni} \leq Q_{ni}^{\max}$$

Содержание кремния в чугуне

$$S_i^{\min} \leq S_i \leq S_i^{\max}$$

Газодинамический режим
(степень уравнивания шихты газовым потоком)

$$C_i^{\min} \leq C_i \leq C_i^{\max}$$

Качество чугуна
(содержание серы в чугуне)

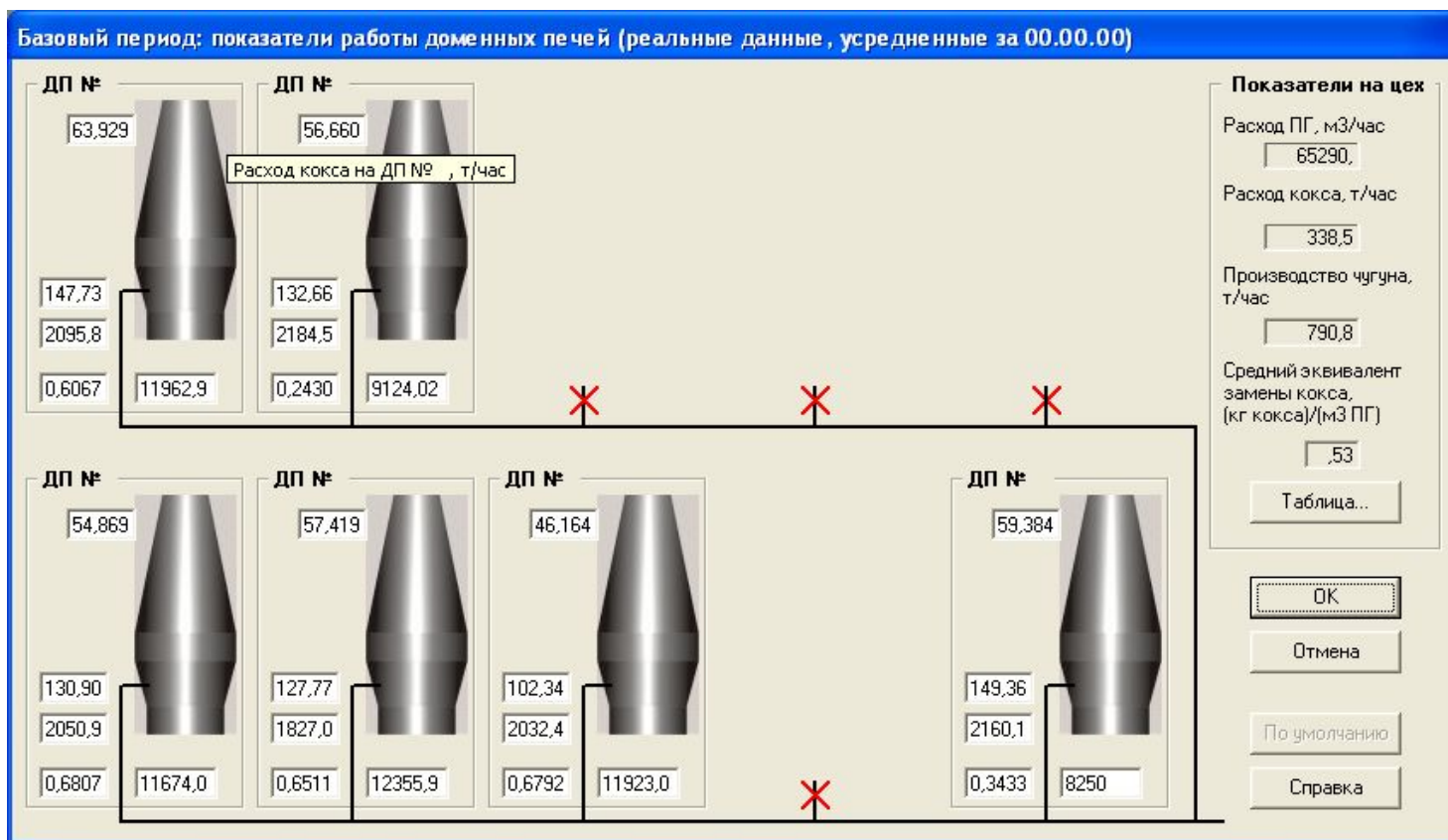
$$S_i^{\min} \leq S_i \leq S_i^{\max}$$

Теоретическая температура горения

$$T_i^{\min} \leq T_i \leq T_i^{\max}$$

Подсистема оптимального распределения топливно-энергетических ресурсов в группе доменных печей

Окно отображения основных базовых показателей работы доменных печей



Подсистема оптимального распределения топливно-энергетических ресурсов в группе доменных печей

Окно установки ограничений на каждую печь

Ограничения на доменные печи (реальные данные , усредненные за 00.00.00)

Здесь устанавливаются различные виды и численные значения ограничений, которые будут учтены при расчете оптимального распределения топливно-энергетических ресурсов

Доменная печь:

Расход ПП,
Минимум
Максимум

Содержание Si в чугуне, %
Минимум
Максимум

Степень уравнивания шихты, доли
Минимум
Максимум

Температура горения, °C
Минимум
Максимум

Содержание S в чугуне, %
Минимум
Максимум

Отношение теплоемкостей потоков в шахте, доли
Минимум
Максимум

Подсистема оптимального распределения топливно-энергетических ресурсов в группе доменных печей

Окно отображения результатов расчета по отдельным печам

Окно изменения параметров работы доменных печей в проектном периоде

Результаты расчета по печам (реальные данные, усредненные за 00.00.00)

ДП №	Период работы печи		
	Базовый (Б)	Оптимальный (Опт)	Отклонение (Опт-Б)
Расход ПГ, мЗ/ч	11963,	10000,	-1963,
Расход кокса, т/ч	63,93	65,12	1,19
Производительность печи, т/ч	147,73	144,84	-2,9
Температура горения на фурмах, °С	2096,	2176,	80,
Содержание Si в чугуна, %	,638	,636	-,002
Содержание S в чугуна, %	,016	,015	-,001
Уд. затраты тепла в нижней зоне, МДж/т чугуна	2737,	2701,	-36,
Отношение теплоемкостей потоков в шахте, доли	,9	,91	,01
Степень уравнивания шихты, доли	,44	,43	-,01

Справка Лимитирующие параметры ... ОК

Проектный период: изменение параметров работы доменных печей

Введите проектные параметры работы доменных печей, по которым будет производиться расчет оптимального распределения природного газа

Номер печи

- ДП №
- ДП №
- ДП №
- ДП №
- ДП №
- ДП №
- ДП №
- ДП №
- ДП №
- ДП №
- ДП №

Проектный период

Дугьевые параметры | Шихтовые параметры

Влажность дугья, г/мЗ
Проект База

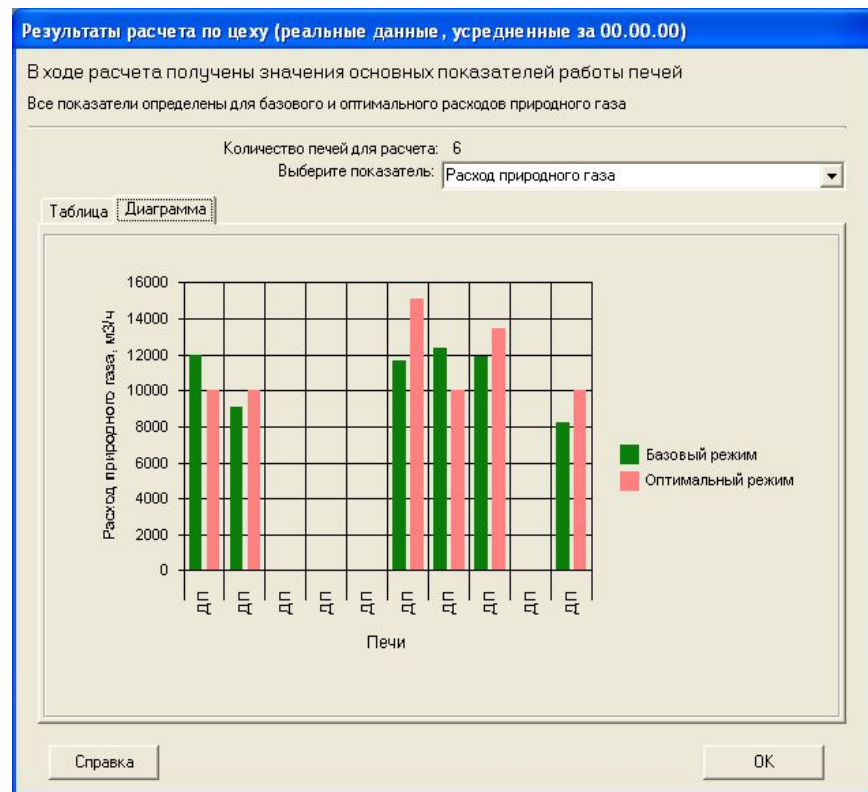
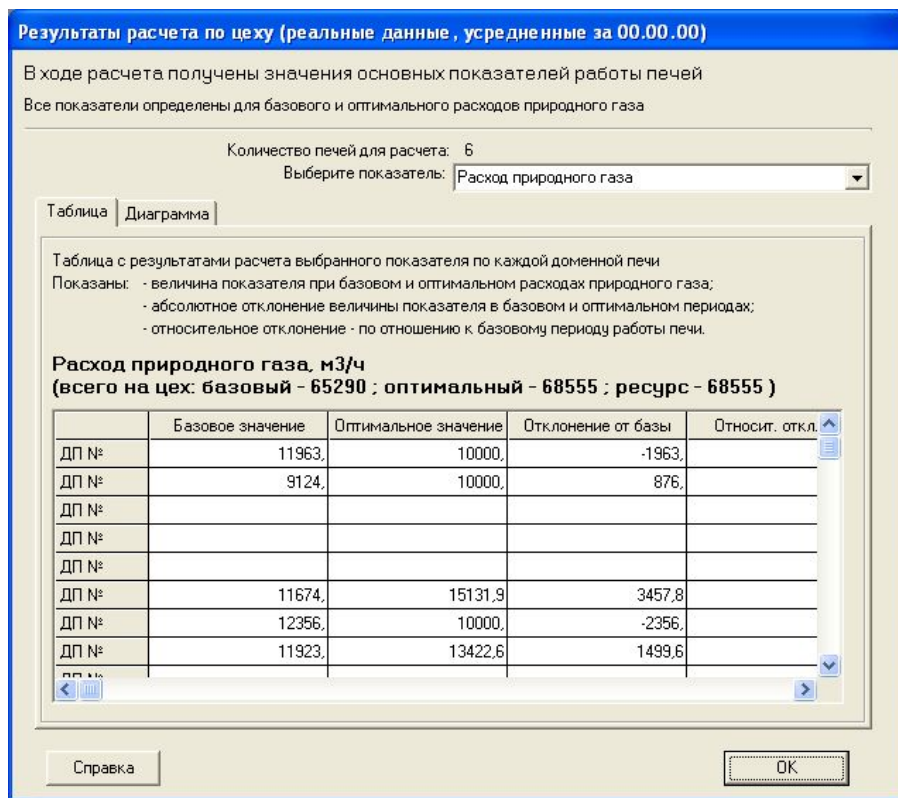
Температура дугья, °С
Проект База

Содержание кислорода в дугье, %
Проект База

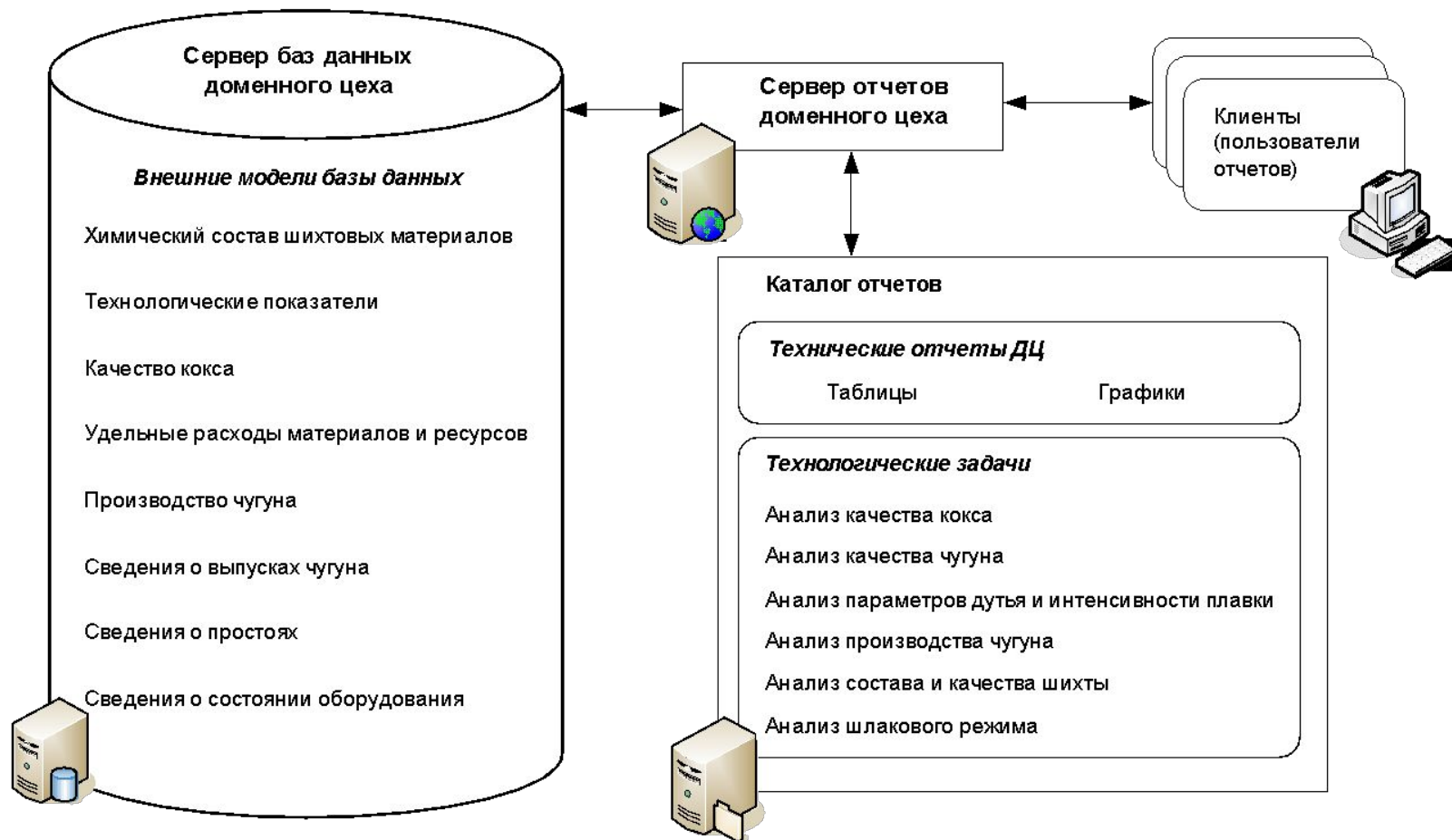
Справка Расчет Отмена

Подсистема оптимального распределения топливно-энергетических ресурсов в группе доменных печей

Отображение результатов

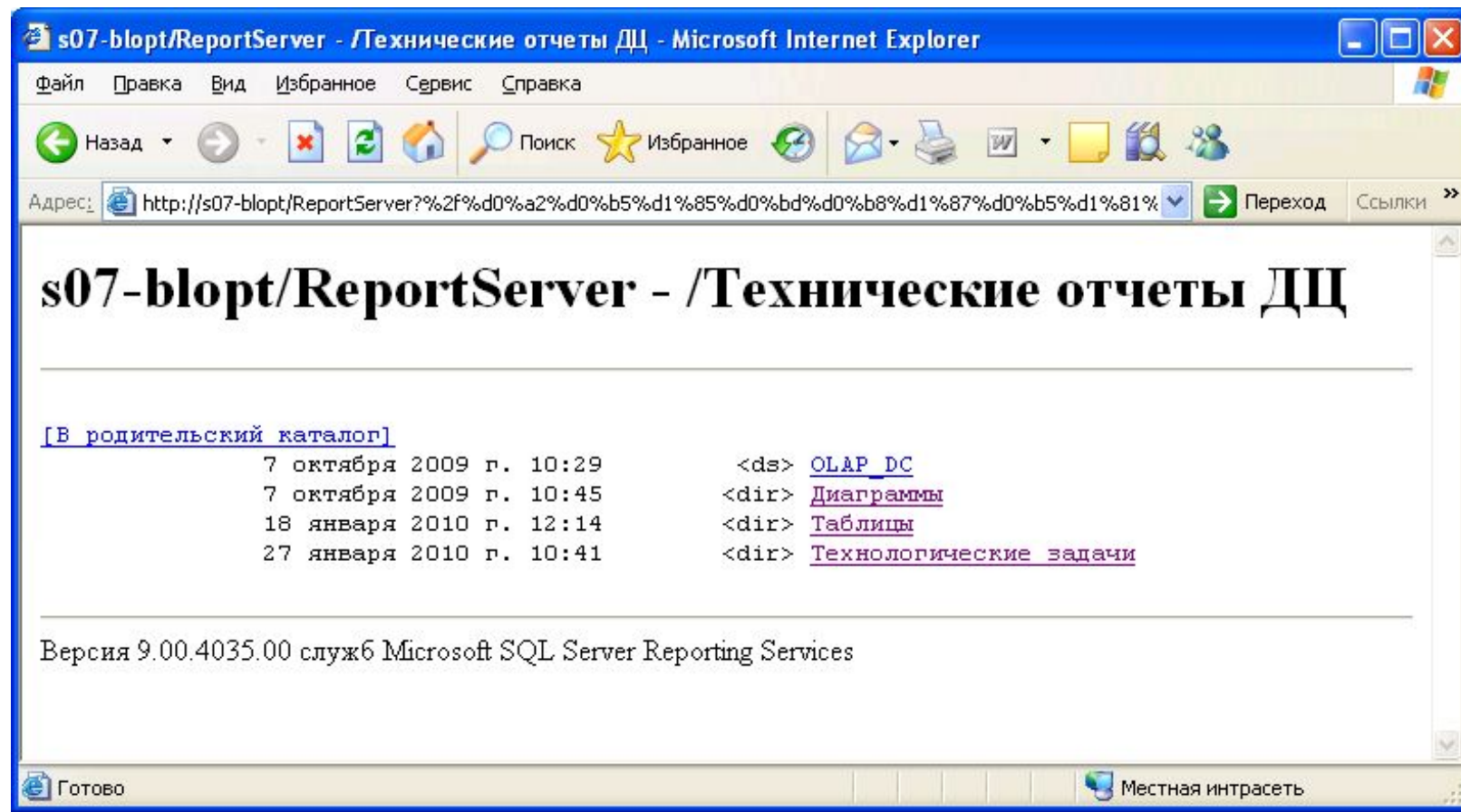


Подсистема мониторинга отчетных показателей работы доменного цеха в корпоративной сети комбината



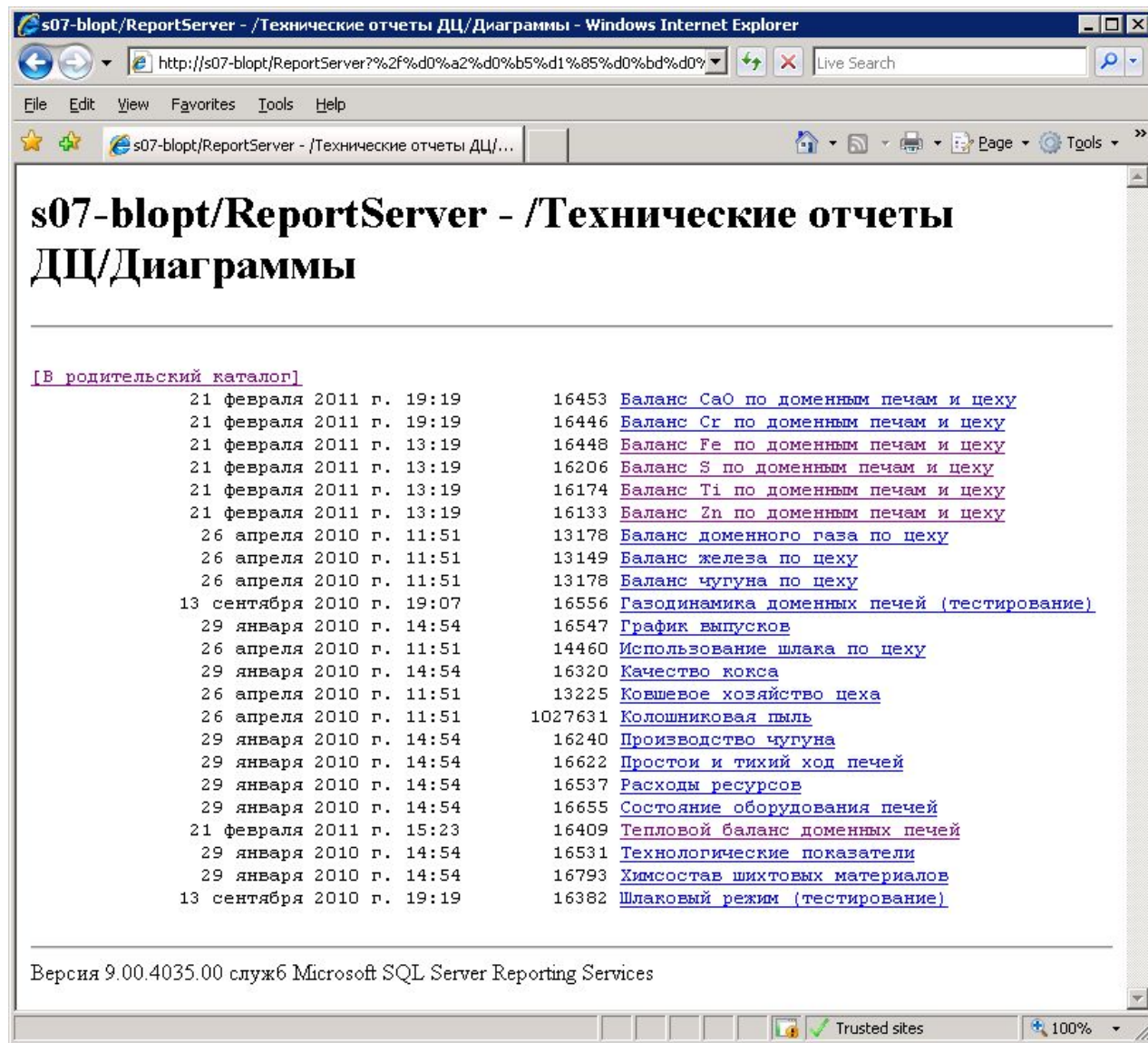
Визуализация отчетных показателей на Web-сервере ОАО «ММК»

Главная страница



Визуализация отчетных показателей на Web-сервере ОАО «ММК»

Перечень диаграмм



The screenshot shows a web browser window with the following content:

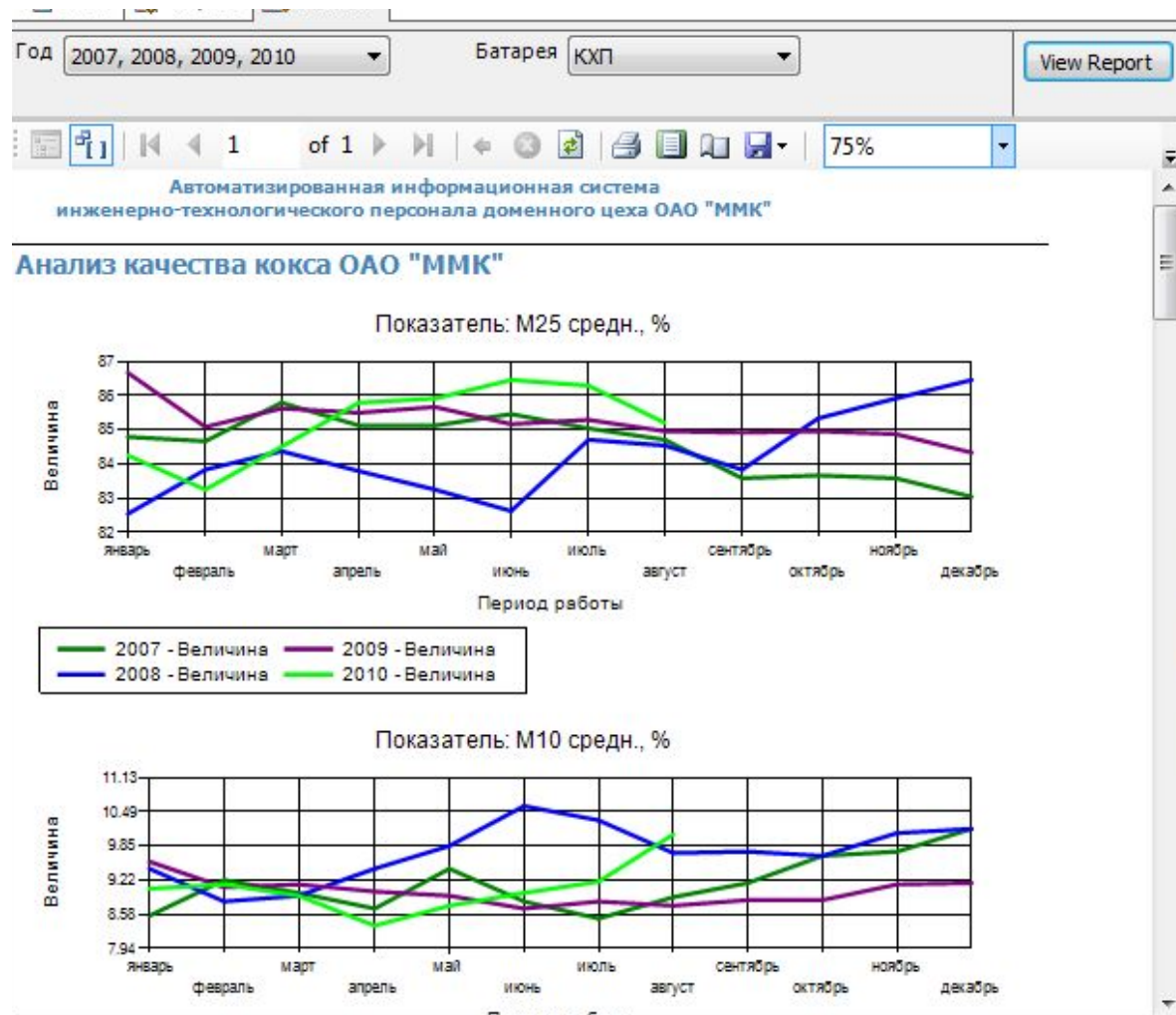
s07-blopt/ReportServer - /Технические отчеты ДЦ/Диаграммы

[\[В родительский каталог\]](#)

21 февраля 2011 г. 19:19	16453	Баланс CaO по доменным печам и цеху
21 февраля 2011 г. 19:19	16446	Баланс Si по доменным печам и цеху
21 февраля 2011 г. 13:19	16448	Баланс Fe по доменным печам и цеху
21 февраля 2011 г. 13:19	16206	Баланс S по доменным печам и цеху
21 февраля 2011 г. 13:19	16174	Баланс Ti по доменным печам и цеху
21 февраля 2011 г. 13:19	16133	Баланс Zn по доменным печам и цеху
26 апреля 2010 г. 11:51	13178	Баланс доменного газа по цеху
26 апреля 2010 г. 11:51	13149	Баланс железа по цеху
26 апреля 2010 г. 11:51	13178	Баланс чугуна по цеху
13 сентября 2010 г. 19:07	16556	Газодинамика доменных печей (тестирование)
29 января 2010 г. 14:54	16547	График выпусков
26 апреля 2010 г. 11:51	14460	Использование шлака по цеху
29 января 2010 г. 14:54	16320	Качество кокса
26 апреля 2010 г. 11:51	13225	Ковшовое хозяйство цеха
26 апреля 2010 г. 11:51	1027631	Колошниковая пыль
29 января 2010 г. 14:54	16240	Производство чугуна
29 января 2010 г. 14:54	16622	Простои и тихий ход печей
29 января 2010 г. 14:54	16537	Расходы ресурсов
29 января 2010 г. 14:54	16655	Состояние оборудования печей
21 февраля 2011 г. 15:23	16409	Тепловой баланс доменных печей
29 января 2010 г. 14:54	16531	Технологические показатели
29 января 2010 г. 14:54	16793	Химсостав шихтовых материалов
13 сентября 2010 г. 19:19	16382	Шлаковый режим (тестирование)

Версия 9.00.4035.00 служб Microsoft SQL Server Reporting Services

Визуализация отчетных показателей на Web-сервере ОАО «ММК»



Технологическ
ие
задачи

Заключение

1. С использованием системного подхода разработана функциональная модель автоматизированной информационной системы анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха (АИС АППС ДЦ).
2. Произведена структурная декомпозиция АИС АППС ДЦ. Выделены подсистемы сбора, первичной обработки и хранения данных; визуализации данных о работе доменной печи; формирования технического отчета о работе доменных печей и цеха; сопоставительного анализа работы доменных печей и цеха; модельной поддержки принятия решений, диагностики работы доменных печей и прогнозирования технологических ситуаций.
3. Создано математическое, алгоритмическое и информационное обеспечение АИС АППС ДЦ, положенное в основу создания программного комплекса, интегрированного в корпоративную структуру ОАО «ММК».
4. Сформулированы принципы построения, разработана структура и осуществлено инфологическое моделирование базы данных АИС АППС ДЦ с использованием современных CASE-средств проектирования.
5. Разработаны архитектура и структура программных модулей АИС АППС ДЦ, выполнено кодирование программного обеспечения подсистем: отображения среднесменных и среднесуточных показателей, формирования и сопоставления отчетных показателей о работе доменных печей и цеха, модельных систем оценки газодинамического и шлакового режимов доменной плавки, теплового баланса, оптимального распределения топливно-энергетических ресурсов группы доменных печей, визуализации отчетных и расчетных показателей на Web-сервере.
6. Программный комплекс передан в Управление информационных технологий на сопровождение и внедрен в промышленную эксплуатацию доменного производства ОАО «ММК».

Спасибо за внимание!