

Анализ технологических и бизнес-процессов металлургических комбинатов для внедрения ЛИМС

А. Катенин, к.т.н, АО «ГНИНГИ»

Н. Лиманский

В. Милушков

Ключевые слова: доменное производство, доменный цех, отдел внешней приёмки, отдел технического контроля, центральная аналитическая лаборатория

Цель данной статьи – выявить потребности и «узкие места» бизнес-процессов металлургического комбината, в первую очередь, доменного производства и центральной аналитической лаборатории, которые могут быть оптимизированы или учтены внедрением лабораторной информационной менеджмент-системы.

1 Предметная область металлургического комбината

Таблица 1 – Термины и определения предметной области

Агломерат	–	окускованный рудный концентрат, полученный в процессе агломерации; спёкшаяся в куски мелкая (часто пылевидная) руда размерами 5-100 мм с незначительным содержанием мелочи
Доменная печь	–	печь шахтного типа, состоящая из колошника, шахты, распара, заплечиков и горна
Доменный процесс (доменная плавка)	–	процесс получения чугуна в доменной печи
Каупер	–	устройство для нагрева подаваемого воздуха
Кокс	–	твёрдое топливо для доменных печей, где выплавляют чугун
Колошник	–	верхняя цилиндрическая часть доменной печи (синоним – колошниковый аппарат)
Руда	–	природное минеральное образование, содержащее железо и его соединения
Чугунная летка	–	отверстие для выпуска чугуна в верхней части горна
Флюс	–	неорганические вещества, которые добавляют к руде при выплавке из неё металлов, чтобы снизить её температуру плавления и облегчить отделение металла от пустой породы
Шихта	–	смесь разных углей в определённой пропорции (синоним – шихтовые материалы)
Шихтовые материалы	–	кокс, агломерат, частично руда с флюсом
Шлак верхний	–	выпускается через шлаковую летку доменной печи
Шлак нижний	–	выпускается вмесче с чугуном через чугунную летку доменной печи
Шлаковая летка	–	отверстие для выпуска шлака
Чугун	–	сплав железа с углеродом и другими элементами

2 Роль и место доменного производства

Доменное производство является сложным многостадийным процессом, состоящим из комплекса специализированных операций по обработке разнородных материалов. Ввиду непрерывности, высокой степени механизации, большой насыщенности контрольно-измерительной аппаратурой доменный процесс довольно хорошо подготовлен для автоматического управления [1].

Доменный процесс означает удаление кислорода из оксидов железа, содержащихся в агломерате, окатышах и железной руде, с последующим образованием чугуна-сплава железа с углеродом. Этот сложный физико-химический процесс протекает последовательно по всей высоте доменной печи в условиях встречного движения и взаимодействия двух потоков: нисходящего потока загружаемых сверху печи шихтовых материалов, топлива (кокса) и восходящего потока газов.

Скорости указанных потоков существенно отличаются друг от друга; материалы проходят через современную доменную печь за 6-8 ч, газовый поток за 3-4 с. Рудная часть шихты современных печей состоит из офлюсованного агломерата, окатышей, рудных добавок (железная и марганцевая руды), металлодобавок; в качестве флюса используется известняк; топливом служит кокс. В результате доменного процесса получают продукты плавки чугуна, шлак, колошниковый (доменный) газ и колошниковая пыль. Главной целью автоматизации (и внедрения АСУТП – *прим. авторов*) доменного процесса является выплавка максимального количества чугуна заданного качества (состава) при наилучших технико-экономических показателях

Роль доменного производства заключается в выплавке максимального количества чугуна с заданными свойствами.

Место доменного производства определяется необходимостью поддержания практически постоянными производительности печи и состава чугуна. Такое постоянство требует стабилизации как параметров загрузки, так и дутьевого режима.

Для систем подачи и загрузки шихты АСУТП осуществляет расчет масс шихтовых материалов в подаче, управление набором и взвешивание шихтовых материалов, управление механизмами тракта шихтоподачи и загрузки шихты по заданной программе. Для собственно доменного процесса АСУТП реализует управление шихтовкой плавки, тепловым состоянием доменной печи, ходом доменной печи, распределением газового потока по сечению шахты. Для воздухонагревателей АСУТП обеспечивает максимальный тепловой КПД.

3 Роль и место центральной аналитической лаборатории и ОТК

3.1 Особенности организации центральной аналитической лаборатории и отдела технического контроля (ОТК)

На предприятии организуется учёт и контроль поступивших сырья и материалов. Создаются отдел внешней приёмки (ОВП), цех (участок) приёма сырья или аналогичные подразделения. Для контроля готововой продукции, сырья, технологических проб и т.п. может быть создано отдельное подразделение типа ОТК, которое может быть отделено от лабораторной деятельности в ЦАЛ (ЦИС, ЦЗЛ и т.п.).

3.2 Роль и место лабораторной деятельности

Роль центральной аналитической лаборатории определяется её назначением – выполнять контроль качества выпускаемой и промежуточной продукции.

Место центральной аналитической лаборатории – отдельное подразделение, отделенное от ОВП и производственных цехов.

Основной технологический процесс лаборатории – *определение физических свойств материалов*. Обычно на первом этапе автоматизируются процессы контроля качества *доменного*

производства. В частности, учитывается движение проб при контроле шихтовых материалов и выхода в виде пыли и шлама и др.

Основные бизнес-процессы внелабораторной деятельности (для производства): преобразование материалов «уголь → шихта → кокс» и «шихтовые материалы → доменная печь → чугун, шлак».

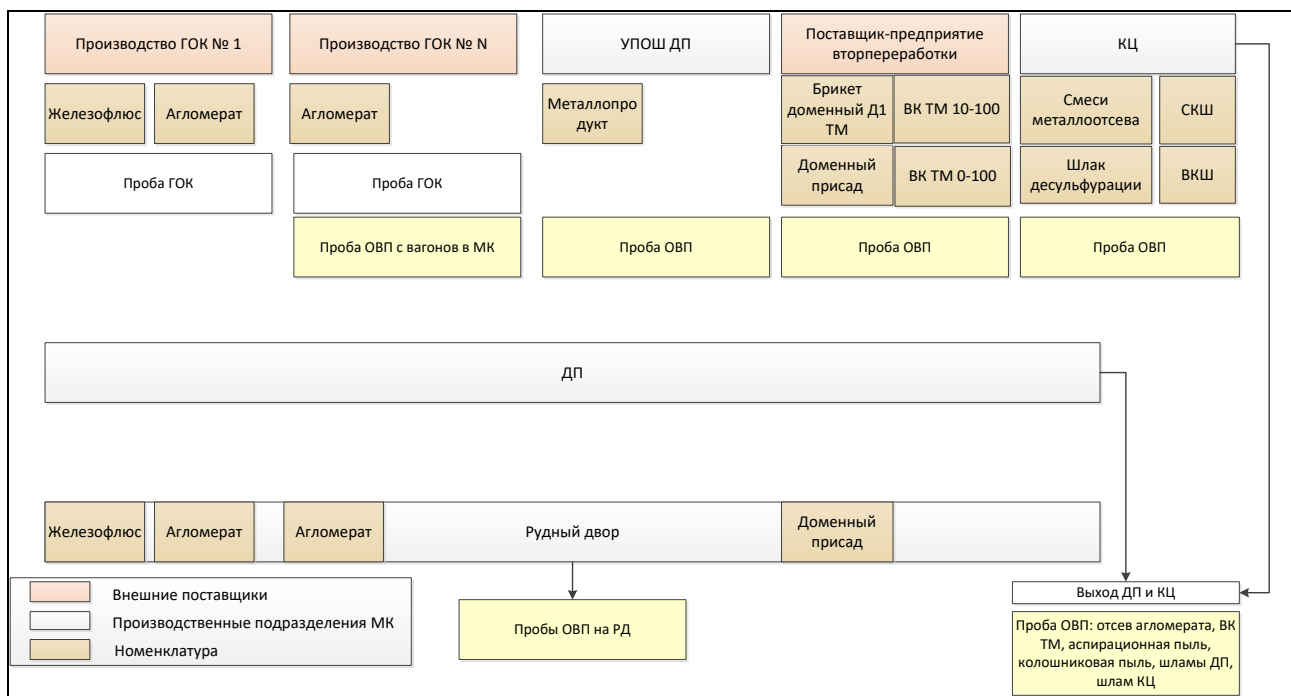


Рисунок 1 – Движение проб при контроле шихтовых материалов и выхода в виде пыли и шлама

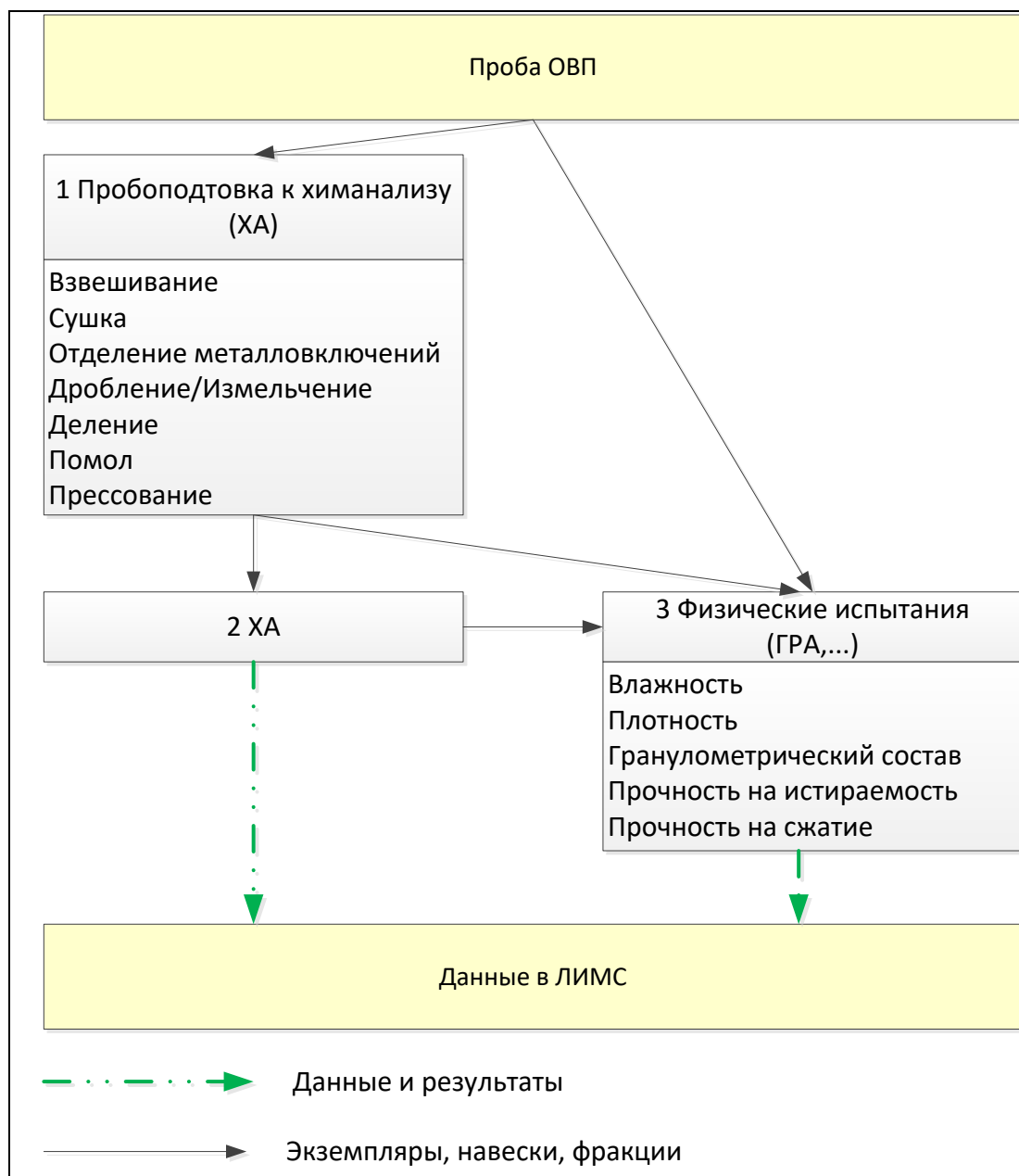


Рисунок 2 – Автоматизируемые процессы участка физико-механических (физико-химических) испытаний

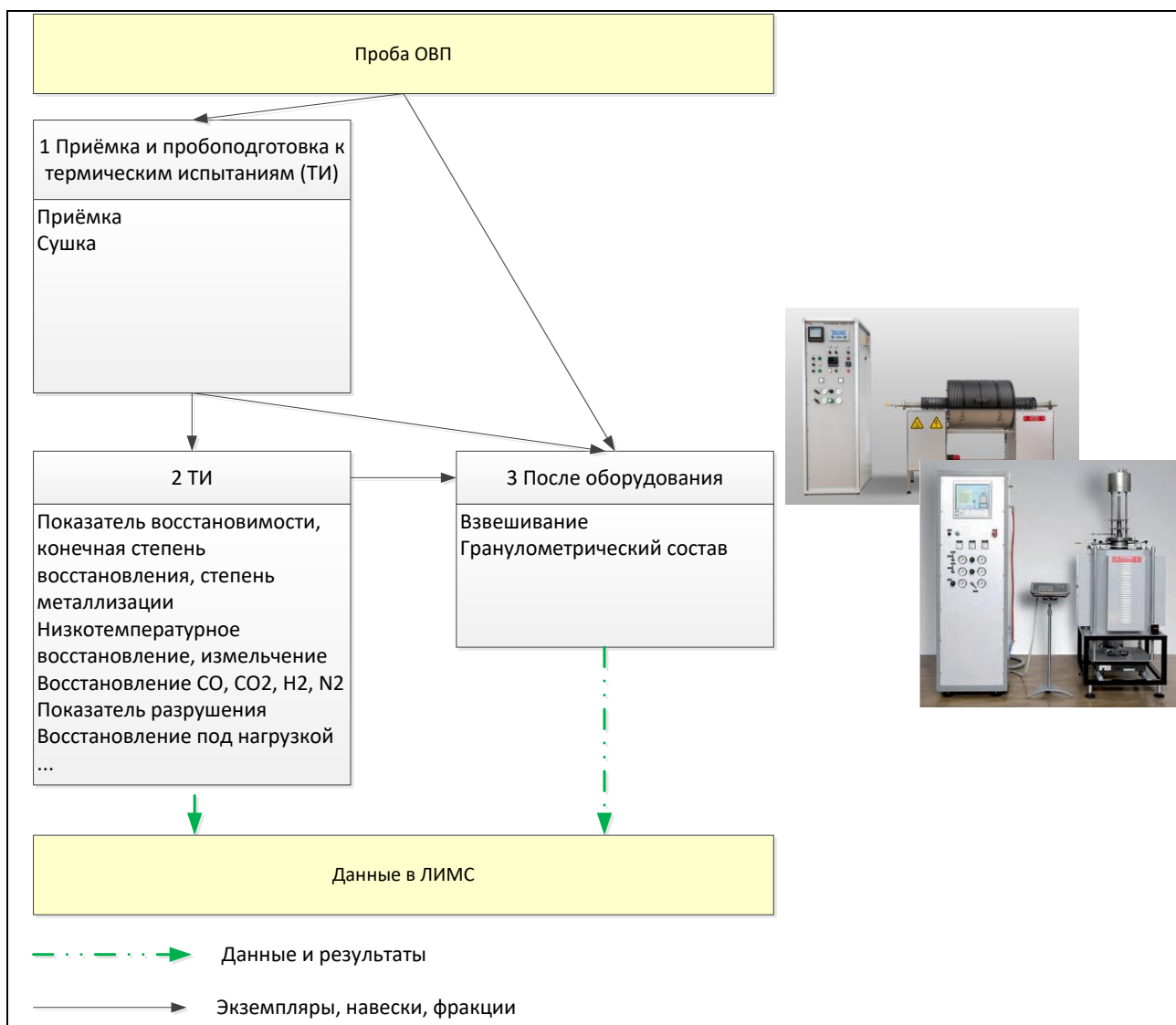


Рисунок 3 – Автоматизируемые процессы участка металлургических (термических) испытаний

4 Металлургический комбинат как объект автоматизации

Типовой металлургический комбинат является предприятием с полным производственным циклом, включающим коксохимическое, *доменное* и конвертерное производства и ряд сталеπροкатных цехов. Режим работы непрерывный, круглосуточный. Число часов работы – 8760 в год (365 дней).

Существует действующая лаборатория. Обычно используются следующие наименования: ЦАЛ, ЦЗЛ, ЦИС, ЦЛК и т.п..

Типовой МК как объект автоматизации состоит из следующих объектов.

Таблица 2 – Объекты автоматизации типового металлургического комбината (пример)

№	Объект	Назначение и Характеристики
1	Лаборатория (ЦАЛ, ЦЗЛ, ЦИС, ЦЛК...)	Контроль качества выпускаемой и промежуточной продукции; Круглосуточно
2	– ЛМИ	Металлургические испытания
3	ЭУ	Пробоподготовка и эксперименты (испытания)
4	– УОПр	Определение прочности
5	– УОГранС	Определение гранулометрического состава
6	– ДрПУ	Дробление и помол (пробоподготовка)
7	– СУШО	Сушка (пробоподготовка)
8	Пресс	Прессование (пробоподготовка)
9	– ЛАК	Аналитический контроль
10	ГШМ	Аналитический контроль шихтовых материалов
11	– ОВП	Прием сырья и материалов
12	УВП	Прием сырья

ГШМ – группа шихтовых материалов в ЛАК

ДП (ДЦ) – доменное производство, доменный цех

ДрПУ – дробильно-помольный участок в ЛМИ

КЦ – конвертерный цех

ЛАК – лаборатория по аналитическому контролю

ЛМИ – лаборатория металлургических испытаний

ОВП – отдел внешней приёмки

Пресс – прессовый участок в ЛМИ

РД – рудный двор

СУШО – сушильное отделение в ЛМИ

УВП – участок внешней приёмки в ОВП

УГЭ – управление главного энергетика

УОГранС – участок определения гранулометрического состава в ЛМИ

УОПр – участок определения прочности в ЛМИ

УПОШ – участок переработки отвальных шлаков в ДЦ

УУШ – участок утилизации шлаков

ФЛЦ – фасонно-литейный цех

ЭУ – экспериментальный участок в ЛМИ

Периодичность всех видов контроля соответствует *планам физико-химического контроля* и разработанным методикам.

Таблица 3 – Список продуктов и материалов ДП и ОВП (пример)

№	Номенклатура продуктов и материалов
1	Агломерат ГОК
2	Агломерат ГОК Рудный двор
3	Аспирационная пыль ДП6
4	Аспирационная пыль ДП7
5	Брикет доменный Д1 ТМ
6	Брикет доменный Д1 ТМ Рудный двор
7	ВКШ
8	Доменный присад 25А стальн., габаритн.
9	Доменный присад 25А стальн., габаритн. Рудный двор
10	Железофлюс ГОК
11	Железофлюс ГОК Рудный двор
12	Колошниковая пыль ДП6
13	Колошниковая пыль ДП7
14	Марганцевый агломерат ГОК
15	Марганцевый агломерат ГОК Рудный двор
16	Металлодобавка РМ УПОШ
17	Металлоотсев ванадийсодержащий МС-1 УПВШ
18	Металлоотсев ванадийсодержащий МС-2 УПВШ
19	Металлопродукт 10-100 ВК ТМ
20	Металлопродукт УПОШ
21	Окатыши ГОК
22	Окатыши ГОК Рудный двор
23	Отсев агломерата ДП6
24	Отсев агломерата ДП7
25	СКШ
26	СКШ УПОШ
27	Шлак десульфурации фр. 0-100
28	Шламы ДП
29	Шламы КЦ

Примечание: 1 ВКШ – ванадийсодержащий конвертерный шлак, номенклатура ДП [3, 4, 5]
2 СКШ – стальной конвертерный шлак, номенклатура ДП

Таблица 4 – Нормативные документы и объекты испытаний (пример)

№	Нормативный документ	Объект испытаний
1	ГОСТ 27562-87, ГОСТ 15137-77, ГОСТ 25732-88, ISO 11258-2015, ISO 4695-2015, ISO 4696-1-2015, ISO 4696-2-2015, ISO 7215-2015, ISO 13930-2015, ISO 7992-2015, РФА	Агломерат ГОК
2	ГОСТ 27562-87, ГОСТ 15137-77, ГОСТ 25732-88, РФА	Агломерат ГОК Рудный двор
3	ГОСТ 25732-88, РФА	Аспирационная пыль ДП6
4	ГОСТ 25732-88, РФА	Аспирационная пыль ДП7
5	ГОСТ 12764-73, ГОСТ 25471-82, ГОСТ 15137-77, ГОСТ 24765-81, МР ... (Подготовка пробы), РФА	Брикет доменный Д1 ТМ
6	ГОСТ 12764-73, ГОСТ 25471-82, ГОСТ 15137-77, ГОСТ 24765-81, МР ... (Подготовка пробы), РФА	Брикет доменный Д1 ТМ Рудный двор
7	ГОСТ 9758-2012, ГОСТ 25732-88, МР ..., РФА	ВКШ
8	ГОСТ 8269.0-97, ГОСТ 8269.0-97, ГОСТ 8269.0-97, МР ... (Подготовка пробы), РФА	Доменный присад 25А стальн., габаритн.
9	ГОСТ 8269.0-97, ГОСТ 8269.0-97, ГОСТ 8269.0-97, МР ... (Подготовка пробы), РФА	Доменный присад 25А стальн., габаритн. Рудный двор
10	ГОСТ 27562-87, ГОСТ 15137-77, ГОСТ 25732-88, ISO 11258-2015, ISO 4695-2015, ISO 4696-1-2015, ISO 4696-2-2015, ISO 7215-2015, ISO 13930-2015, ISO 7992-2015, РФА	Железофлюс ГОК
11	ГОСТ 27562-87, ГОСТ 15137-77, ГОСТ 25732-88, РФА	Железофлюс ГОК Рудный двор
12	ГОСТ 25732-88, РФА	Колошниковая пыль ДП6
13	ГОСТ 25732-88, РФА	Колошниковая пыль ДП7
14	ГОСТ 27562-87, ГОСТ 15137-77, ГОСТ 25732-88, РФА	Марганцевый агломерат ВГОК
15	ГОСТ 27562-87, ГОСТ 15137-77, ГОСТ 25732-88, РФА	Марганцевый агломерат ГОК Рудный двор
16	ГОСТ 9758-2012, ГОСТ 8269.0-97, ГОСТ 9758-2012, МР ... (Подготовка пробы), РФА	Металлодобавка РМ УПОШ
17	ГОСТ 8269.0-97, ГОСТ 9758-2012, РФА	Металлоотсев ванадийсодержащий МС-1 УПВШ
18	ГОСТ 8269.0-97, ГОСТ 9758-2012, РФА	Металлоотсев ванадийсодержащий МС-2 УПВШ
19	ГОСТ 9758-2012, ГОСТ 8269.0-97, ГОСТ 9758-2012, МР ... (Подготовка пробы), РФА	Металлопродукт 10-100 ВК ТМ
20	ГОСТ 9758-2012, ГОСТ 8269.0-97, ГОСТ 9758-2012, МР ... (Подготовка пробы), РФА	Металлопродукт УПОШ
21	ГОСТ 27562-87, ГОСТ 15137-77, ГОСТ 24765-81, ГОСТ 25732-88, ISO 11258-2015, ISO 4695-2015, ISO 4696-1-2015, ISO 4696-2-2015, ISO 7215-2015, ISO 13930-2015, ISO 7992-2015, РФА	Окатыши ГОК
22	ГОСТ 27562-87, ГОСТ 15137-77, ГОСТ 24765-81, ГОСТ 25732-88, РФА	Окатыши ГОК Рудный двор
23	ГОСТ 27562-87, ГОСТ 25732-88, РФА	Отсев агломерата ДП6
24	ГОСТ 27562-87, ГОСТ 25732-88, РФА	Отсев агломерата ДП7
25	ГОСТ 8269.0-97, ГОСТ 25732-88, МР ... (Подготовка пробы), РФА	СКШ

№	Нормативный документ	Объект испытаний
26	ГОСТ 8269.0-97, ГОСТ 25732-88, МР ... (Подготовка пробы), РФА	СКШ УПОШ
27	ГОСТ 8269.0-97, ГОСТ 9758-2012, МР ... (Подготовка пробы), РФА	Шлак десульфурации фр. 0-100
28	ГОСТ 8735-88, ГОСТ 9758-2012, РФА	Шламы ДП
29	ГОСТ 8735-88, ГОСТ 9758-2012, РФА	Шламы КЦ

Примечание: 1 МР – методические рекомендации
2 РФА – рентгенофлуоресцентный анализ

5 Потребности, закрываемые ЛИМС

Назначением типовой ЛИМС является автоматизация процессов лабораторной деятельности МК в части:

- формирования отчётности;
- сбора, обработки, хранения и управления информацией, полученной в ходе лабораторной деятельности;

- получения оперативной информации о работе лаборатории;
- оценки качества испытаний и получения необходимой отчётной документации.

ЛИМС должна обеспечивать автоматизацию функций (перечислено в порядке значимости):

- подготовки к проведению, проведения и учёта результатов лабораторных испытаний;
- учёта реактивов, материалов и СО, применяемых в лабораторной деятельности, а также ведение архива проб;
- учёта лабораторного оборудования и его размещения в помещениях лаборатории;
- получения измерительной информации от аналитических приборов, использующихся при проведении испытаний;
- передачи результатов испытаний по указанному списку видов проб во внешние системы через принятые способы (шаблоны) интеграции информационных систем;
- внутрилабораторного контроля качества (ВЛК) результатов испытаний;
- системы менеджмента качества (СМК).

Целями внедрения ЛИМС могут являться:

- создание единой системы ведения учёта проб, обеспечение полной прослеживаемости пробы на всех этапах её жизненного цикла;
- сокращение временных затрат сотрудников лаборатории на регистрацию и учет проб, на расчет и обработку результатов испытаний, снижение вероятности ошибок при проведении этих операций, повышение качества результатов;
- ускорение процесса передачи данных лабораторного контроля всем заинтересованным лицам, участвующим в управлении качеством;
- снижение трудозатрат сотрудников лаборатории на ведение лабораторных журналов и формирование внутренних отчётов, а также исключение вероятности искажения информации при переносе её из документа в документ;
- обеспечение надёжности хранения данных по контролю качества и оперативности доступа к ним;
- оптимизация процесса учёта ТМЦ;
- минимизация ручного ввода информации в ЛИМС за счет интеграции с аналитическими приборами;
- совершенствование механизмов управления лабораторной информацией.

Поставленные цели должны быть достигнуты за счёт решения следующих задач:

- автоматизация процессов сбора, обработки, контроля, накопления, хранения и передачи информации, полученной в результате проведения испытаний;
- учёт движения проб и их прослеживаемость;
- обеспечение ведения электронных лабораторных журналов;

- обработка результатов измерений и представление их в виде выходных документов лаборатории;
- ведение базы данных используемых в лабораториях реактивов, стандартных образцов (СО), аттестованных смесей (АС) и расходных материалов;
- ведение базы данных лабораторного оборудования;
- автоматизированное ведение процедур ВЛК результатов испытаний;
- автоматизированное ведение процедур СМК;
- автоматизированный ввод результатов лабораторных испытаний с оборудования, имеющего соответствующие средства вывода результатов в электронном виде;
- предоставление информации о результатах испытаний объектов контроля подразделениям, использующим в своей работе данные о показателях качества.

Таблица 5 – Потребности, закрываемые ЛИМС

№	Описание бизнес-процесса (потребность, «узкое место» и т.п.)	Примечание
1	Учёт и хранение реактивов, СО, АС и расходных материалов	
2	Подготовка к испытаниям	
3	Отбор и регистрация проб	
4	Проведение испытаний	
5	Расчёт результатов испытаний	
6	Оформление результатов испытаний	Протокол испытаний
7	Мониторинг условий проведения испытаний	
8	Внутрилабораторный контроль результатов анализа	
9	Интеграция АСУТП и ЛИМС	
10	Прочие потребности – ведение реестров номенклатуры, нормативной документации и пр. НСИ	Ведение реестров, например, см. таблицы 3, 4

Замечания и уточнения по описанию бизнес-процессов представлены ниже.

1) пп. 2, 3: ОВП поставляет пронумерованные пробы на анализ партиями в сопровождении заявки на анализ. Пробы поступают либо на **участок физико-механических испытаний**, либо на **участок металлургических испытаний**. Первые три этапа проведения испытаний на участках не отличаются.

Заявка на отбор проб может быть сформирована в ЛИМС еще до получения самой партии проб. Заявка числится в системе со статусом «Проект», утвердить можно заявку после проведения входного контроля партии. Формирование типовых заявок на испытания возможно производить с помощью ранее настроенных шаблонов на отбор проб.

Записи пробы и экземпляров проб создаются со следующими атрибутами:

- номер пробы при отборе (единый для пробы и для всех ее экземпляров);
- номер пробы для лаборатории;
- номер экземпляра пробы;
- наименование пробы;
- тип пробы;
- статус (для аналитических проб – «Отобрана», для проб-дубликатов и арбитражных проб – «Архив»);
- срок хранения (для проб-дубликатов и арбитражных проб);
- ФИО ответственного за отбор пробы;
- определяемые элементы (если настроены в шаблоне);
- программа испытаний (если настроена в шаблоне).

Отобранные пробы передаются в лабораторию.

2) п. 4: На участке физико-механических испытаний выполняются следующие процессы:

- регистрация пробы;
- направление на анализ;
- формирование рабочих листов на группу проб;
- пробоподготовка;

- добавление контрольных проб в рабочий лист;
- проведение физических исследований;
- проведение химических исследований;
- обработка результатов;

3) На участке металлургических испытаний выполняются аналогичные процессы. Вместо физических и химических исследований проводятся термические.

4) п. 9: интеграция АСУТП и ЛИМС, в частности, АСУ ДП и ЛИМС, строго говоря не является предметом лабораторной деятельности. Это отдельный обширный пласт проектной и внедренческой деятельности, требующий учёта принятых методов и практик разработки, внедрения и эксплуатации информационного и программного обеспечения. Внедрение лабораторной информационной менеджмент-системы, как правило, не означает интеграцию с АСУТП. Данный вопрос будет рассмотрен авторами в отдельной статье.

ВЫВОДЫ

1 Выявлены потребности и «узкие места» бизнес-процессов металлургического комбината, в первую очередь, доменного производства и центральной аналитической лаборатории

2 Внедрение лабораторной информационной менеджмент-системы позволяет оптимизировать рассмотренные бизнес-процессы и уменьшить или исключить влияние «узких мест»

3 Количественные оценки могут быть получены после разработки и апробации соответствующих методик для оценки эффективности.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АС	–	аттестованная смесь
ВКШ	–	ванадийсодержащий конвертерный шлак
ВЛК	–	внутрилабораторный контроль качества
ГОК	–	горно-обогатительный комбинат
ГРА	–	гравиметрический анализ
ИО	–	информационное обеспечение
МК	–	металлургический комбинат
МО	–	математическое обеспечение
НСИ	–	нормативно-справочная информация
ОТК	–	отдел технического контроля
ПО	–	программное обеспечение
СКШ	–	стальной конвертерный шлак
СМК	–	система менеджмента качества
СО	–	стандартный образец
ТМЦ	–	товарно-материальные ценности
ХА	–	химический анализ
ХЭ	–	химический элемент
ЦАЛ	–	центральная аналитическая лаборатория
ЦЗЛ	–	центральная заводская лаборатория
ЦИС	–	центральная измерительная станция
ЦЛК	–	центральная лаборатория комбината

ЛИТЕРАТУРА

1 Доменный процесс,

<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81>, Дата обращения: 14.05.2022

2 Особенности доменного производства как объекта автоматического управления, <https://www.kstu.kz/wp-content/uploads/2018/05/tsifrovaya-mitallurgiya/el-uch-po-ampr/g128.htm#:~:text=%D0%92%20%D1%80%D0%B5%D0%B7%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B5%20%D0%B4%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81%D0%B0%20%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B0%D1%8E%D1%82%D1%81%D1%8F,%D0%BF%D1%80%D0%B8%20%D0%BD%D0%B0%D0%B8%D0%BB%D1%83%D1%87%D1%88%D0%B8%D1%85%20%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%2D%D1%8D%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D1%85%20%D0%BF%D0%BE%D0%BA%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8F%D1%85>. , Дата обращения: 14.05.2022

3 <https://www.oblgazeta.ru/society/58071/>, Дата обращения: 14.05.2022

4 Шихта для производства железорудного агломерата, <https://patents.google.com/patent/RU2752794C1/ru>, Дата обращения: 14.05.2022

5 Опыт переработки шлака установки ковш-печь в АО «ЕВРАЗ НТМК», 2020, <https://science.urfu.ru/ru/publications/%D0%BE%D0%BF%D1%8B%D1%82-%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%B8-%D1%88%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D0%B0-%D1%83%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BA%D0%B8-%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%88-%D0%BF%D0%B5%D1%87%D1%8C-%D0%B2-%D0%B0%D0%BE-%D0%B5%D0%B2%D1%80%D0%B0%D0%B7-%D0%BD%D1%82%D0%BC%D0%BA>, (см. также <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43123565>), Дата обращения: 14.05.2022

6 <https://www.rb-autom.com/dynamic-reducibility-test-system/>, Дата обращения: 14.05.2022

7 <https://www.rb-autom.com/load-reduction-test-system/>, Дата обращения: 14.05.2022