

Подписано электронной подписью:
Вержицкий Данил Григорьевич
Должность: Директор КГПИ КемГУ
Дата и время: 2025-04-23 00:00:00
471086fad29a3b30e244e728abc3661ab35e9d50210dcf0e75e03a5b6fdf6436

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Кемеровский государственный университет»
Новокузнецкий институт (филиал)

Факультет информатики, математики и экономики

Кафедра информатики и вычислительной техники им. В. К. Буторина

И. А. Жибинова

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

*Методические указания к выполнению курсовой работы
для обучающихся по направлению подготовки*

*09.03.01 Информатика и вычислительная техника
направленность (профиль) Автоматизированные системы обработки
информации и управления)*

Новокузнецк 2019

УДК [378.147.85:004.94](072)

ББК 74.484(2Рос-4Кем)я73+32.966я73

Ж66

Жибинова И. А.

Ж66 «Автоматизированные системы управления технологическими процессами» : метод. указ. к выполнению курсовой работы для обучающихся по направлению 09.03.01 - Информатика и вычислительная техника / И. А. Жибинова ; Новокузнец. ин-т (фил.) Кемеров. гос. ун-та. – Новокузнецк : НФИ КемГУ, 2019. – 57 с.

Приводятся общие положения, определяющие порядок выполнения, представления результатов и защиты курсовой работы, критерии ее оценки, примерная тематика курсовых работ, требования к структуре и содержанию, перечень и характеристика сведений, приводимых в разделах курсовой работы.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 09.03.01 Информатика и вычислительная техника (профиль Автоматизированные системы обработки информации и управления). Может быть использовано также при выполнении курсовых работ дисциплине «Проектирование АСОИУ», при составлении отчета по итогам производственной (преддипломной) практики, выполнении бакалаврской выпускной квалификационной работы, для разработки и оформления проектно-технической документации в части описания ТОУ, их идентификации, выбора и обоснования задач автоматизации.

Рекомендовано
на заседании кафедры информатики и
вычислительной техники
им. В. К. Буторина
13 февраля 2019 г.

Утверждено
методической комиссией фа-
культета информатики, матема-
тики и экономики
21 марта 2019 г.

Заведующий кафедрой Председатель методкомиссии

О. В. Михайлова

Г. Н. Бойченко

©Жибинова И. А., 2019

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет»,
Новокузнецкий институт (филиал), 2019

Содержание

Введение	5
1 Примерная тематика курсовых работ по дисциплине «Автоматизированные системы управления технологическими процессами»	9
2 Структура пояснительной записки к курсовой работе	10
3 Содержание структурных элементов пояснительной записки	11
3.1 Титульный лист и задание	11
3.2 Реферат	11
3.3 Содержание	12
3.4 Нормативные ссылки	12
3.5 Определения, обозначения и сокращения	12
3.6 Введение	13
3.7 Основная часть	14
4 Содержание теоретического раздела основной части пояснительной записки	14
4.1 Физико-химические основы производства	15
4.2 Характеристика сырья, материалов, полупродуктов и энергоресурсов	15
4.3 Характеристика готовой продукции	16
4.4 Характеристика технологического процесса и оборудования	16
4.5 Характеристика технологического объекта как объекта управления	19
4.6 Метрологическое обеспечение технологического объекта управления	23
5 Содержание расчетно-графического раздела основной части пояснительной записки	23
6 Демонстрационный материал	24
Список рекомендуемой литературы	25
Приложение А Образец титульного листа пояснительной записки к курсовой работе	27

Приложение Б Образец листа задания на курсовую работу.....	29
Приложение В Варианты описания производственной структуры	31
Приложение Г Варианты описания производственной структуры	39
Приложение Д Варианты оформления и описания схем технологического оборудования.....	41
Приложение Е Варианты оформления схем структуры и описания технологического процесса	44
Приложение Ж Вариант описания технологического процесса как объекта управления (на примере конвертерной плавки стали)	48
Приложение К Варианты описания метрологического обеспечения ГОУ	52

Введение

Курсовая работа (КР) по учебной дисциплине - это индивидуальное задание, которое предполагает разработку совокупности документов (расчетно-пояснительной или пояснительной записки, при необходимости - графического, иллюстративного материала), и является творческим или репродуктивным решением конкретной задачи, выполненной студентом самостоятельно под руководством преподавателя, на основе приобретенных по данной и смежным дисциплинам знаний и умений.

В курсовой работе по дисциплине «Базовые материальные технологии и модели объектов управления» студент должен продемонстрировать владение методами и методиками содержательного и формального описания технологического объекта управления (ТОУ) различной физической природы, различных областей применения и с различными характеристиками в виде вход-выходной преобразующей схемы «ресурсы – продукция», инструментами моделирования ТОУ.



Технологический объект управления (ТОУ) - это совокупность технологического оборудования и реализованного на нем по соответствующим инструкциям или регламентам технологического процесса производства.

Технологический процесс – часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда.

К технологическим объектам управления относятся:

- технологические агрегаты и установки, реализующие самостоятельный технологический процесс;
- отдельные производства (цехи, участки) или производственный процесс всего промышленного предприятия, если управление этим производством носит в основном технологический характер, т. е.

заключается в реализации рациональных режимов работы взаимосвязанных агрегатов (участков, производств).

Исходными материалами для выполнения КР являются:

- результаты обзора литературных источников по теории и технологии исследуемого технологического процесса и патентного поиска;
- первичные эксплуатационные и другие документы, дающие представление о конструктивном выполнении и режимах функционирования ТОО);
- различные рабочие материалы и инструкции, связанные с регламентацией функционирования и управления ТОО;
- результаты обследования автоматизируемого объекта или аналогичных ТОО, анализа экономичности и организации производства или материалы других подобных исследований (при их наличии).

Следует обращаться к источникам, приведенным в рабочей программе данной дисциплины.

Руководитель КР выдает задание на работу (2-я неделя семестра), методические указания по выполнению и оформлению КР, оказывает студенту помощь в разработке графика и календарного плана на весь период выполнения работы, рекомендует студенту основную литературу, справочные и методические материалы, проводит регулярные консультации по расписанию, проверяет ход выполнения работы.

Ответственность за результаты работы несет студент.

Курсовая работа оформляется в виде *пояснительной записки* и *демонстрационной части* (компьютерной презентации), состоящей из набора слайдов и их копий на бумажных носителях. Демонстрационные материалы используются во время защиты работы.

Обратите внимание! Общие требования к содержанию и оформлению типовых структурных элементов *пояснительной записки* к курсовой работе и *демонстрационной части* приведены в [1] и являются обязательными.

Пояснительная записка представляется руководителю на проверку в электронном и распечатанном виде в соответствии с графиком самостоятельной работы студента (СРС).

Курсовая работа подлежит защите. Защита курсовой работы осуществляется в назначенное руководителем время. К защите допускаются студенты, представившие оформленную в соответствии с установленными требованиями пояснительную записку к курсовой работе.

На защите заслушивается:

- устный доклад студента о выполненной работе и ее результатах;
- ответы на вопросы присутствующих на защите (руководителя курсовой работы, студентов группы и приглашенных преподавателей) по представленной пояснительной записке и докладу;
- отзыв руководителя курсовой работы;
- дополнительные вопросы и замечания присутствующих на защите;
- ответы студента на замечания и на дополнительные вопросы.

Для доклада основных итогов работы студенту дается 7-10 минут. Основные положения работы при докладе должны быть представлены в виде компьютерной презентации.

Оценка за курсовую работу складывается из следующих показателей:

- степень соответствия пояснительной записки требованиям к содержанию и оформлению;
- уровень усвоения теоретических знаний, показанный при ответе на вопросы при защите;
- уровень практических навыков, исследования и моделирования ТОУ, контролируемый выполнением расчетной части работы;
- соблюдение установленных сроков выполнения работы.

Руководитель курсовой работы оценивает качество пояснительной записки, доклада, демонстрационного материала, а также ответов на заданные вопросы, учитывая мнения, высказанные в ходе группового обсуждения присутствовавших на защите.

Критерии оценки выполнения студентами курсовых работ:

Оценка «отлично» ставится в том случае, если:

- работа выполнена в установленные сроки, в полном соответствии требованиям к содержанию и оформлению;
- при защите работы студент показывает глубокие знания вопросов темы, свободно оперирует данными, во время доклада результатов использует наглядные пособия (таблицы, схемы, графики и т.п.), доказательно отвечает на вопросы; количество правильных ответов на защите составляет от 80 до 100 процентов;
- расчетная часть курсовой работы выполнена верно.

Оценка «хорошо» ставится, если работа студента удовлетворяет основным требованиям к работе на оценку «отлично», но в ней допущены несущественные ошибки или недочеты. Количество правильных ответов на защите от 66 до 79 процентов.

Оценка «удовлетворительно» ставится, если:

- без уважительной причины нарушался установленный график выполнения заданий;
- допущены существенные ошибки, работа отличается поверхностным анализом и недостаточно критическим разбором предмета работы, в ней просматривается непоследовательность изложения материала, имеются замечания по содержанию работы и методике анализа;
- оформление пояснительной записки не в полной мере отвечает установленным требованиям;
- при защите студент проявляет неуверенность, показывает слабое знание вопросов темы, не дает полного, аргументированного ответа на заданные вопросы; количество правильных ответов на защите от 50 до 65 процентов.

Оценка «неудовлетворительно» ставится, если:

- без уважительной причины нарушался установленный график выполнения заданий;
- оформление пояснительной записки не в полной мере отвечает установленным требованиям;

- допущены принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных заданий, работа не содержит анализа и практического разбора предмета работы, не отвечает требованиям, изложенным в методических рекомендациях, высказываются сомнения руководителя о достоверности результатов и выводов;
- при защите работы студент затрудняется отвечать на поставленные вопросы и (или) допускает существенные ошибки; количество правильных ответов на защите менее 50 процентов.

Студенту, выполнившему работу в срок, но получившему при защите неудовлетворительную оценку, назначается повторная защита.

1 Примерная тематика курсовых работ по дисциплине «Автоматизированные системы управления технологическими процессами»

1. Анализ технологического процесса как объекта автоматизации производства чугуна в доменной печи.

2. Анализ технологического процесса внедоменной десульфурации чугуна как объекта автоматизации.

3. Анализ технологического процесса выплавки стали в кислородном конвертере как объекта автоматизации.

4. Анализ технологического процесса внепечной обработки стали в вакууматоре как объекта автоматизации.

5. Анализ технологического процесса разлива стали на машине непрерывного литья заготовок радиального типа как объекта автоматизации.

6. Анализ технологического процесса выплавки стали в электродуговых печах как объекта автоматизации.

7. Анализ технологического процесса прокатки рельсов как объекта автоматизации.

8. Анализ технологического процесса производства шоколада как объекта автоматизации.

9. Анализ технологического процесса выплавки стали в электродуговых печах как объекта автоматизации.

10. Анализ технологического процесса получения алюминия в электролизных ваннах как объекта автоматизации.

11. Анализ технологического процесса производства агломерата для доменных печей как объекта автоматизации.

2 Структура пояснительной записки к курсовой работе

Пояснительная записка должна содержать следующие структурные элементы:

- **титульный лист;**
- **задание на выполнение курсовой работы;**
- **реферат;**
- **содержание;**
- нормативные ссылки;
- определения;
- обозначения и сокращения;
- **введение;**
- **основная часть;**
- **заключение и выводы;**
- **список литературы;**
- приложения.

Обязательные структурные элементы выделены полужирным шрифтом, остальные включают в пояснительную записку при необходимости.

Наименования структурных элементов текста пояснительной записки, указанные выше, служат заголовками и не нумеруются. Исключение составляет основная часть пояснительной записки. Наименование «Основная часть» в заголовок не выносится; заголовки разделов основной части формулируются в соответствии с ее содержанием и им присваивается сквозная нумерация.

Так называемая графическая часть курсовой работы в виде схем, чертежей и т.п., которую традиционно соотносят с проектной инженерной деятельностью, включается либо в основную часть пояснительной записки, либо в приложения.

3 Содержание структурных элементов пояснительной записки

3.1 Титульный лист и задание

Титульный лист является первым листом пояснительной записки и служит источником информации, необходимой для обработки и поиска документа.

Вторым листом пояснительной записки является задание. Задание разрабатывается студентом совместно с руководителем, согласовывается, если это необходимо, с консультантами и утверждается заведующим кафедрой. Вместе с заданием в качестве его первого пункта утверждается и тема работы.

Титульный лист и задание следует оформлять по установленной форме и правилам оформления, приведенным в [1].

Примеры оформления титульного листа и задания приведены в Приложении А и Б соответственно.

Необходимо иметь в виду, что макеты титульных листов периодически пересматриваются и переутверждаются локальными нормативными актами вуза. В связи с этим, следует проверять наличие актуальных изменений в макетах на кафедре и своевременно учитывать эти изменения при оформлении работы.

3.2 Реферат

Реферат должен содержать:

- сведения об объеме пояснительной записки, количестве иллюстраций, таблиц, приложений, количестве использованных источников;
- перечень ключевых слов;
- текст реферата.

Перечень ключевых слов должен включать от 5 до 15 слов или словосочетаний из текста пояснительной записки, которые в наибольшей мере характеризуют содержание и обеспечивают возможность информационного поиска. Ключевые слова приводятся в

именительном падеже и печатаются строчными буквами в строку через запятые.

Текст реферата должен отражать:

- цель работы и объект исследования;
- метод или методологию проведения работы;
- сведения, раскрывающие содержание основной части работы
- краткие выводы об особенностях работы, ее новизне, возможности и области применения полученных результатов.

Объем реферата не превышает 1 страницы.

3.3 Содержание

В содержании приводятся заголовки всех разделов, подразделов и более мелких рубрик (если они имеют наименование) с указанием номеров страниц, с которых они начинаются. Все приложения должны быть перечислены в содержании работы с указанием их номеров и заголовков. Содержание включают в общее количество страниц записки.

3.4 Нормативные ссылки

Структурный элемент «Нормативные ссылки» содержит перечень стандартов, на которые в тексте записки дана ссылка.

Перечень ссылочных стандартов начинают со слов: *«В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты»*.

В перечень включают обозначения стандартов и их наименования в порядке возрастания регистрационных номеров обозначений.

3.5 Определения, обозначения и сокращения

В курсовой работе должны применяться научно-технические термины, обозначения, сокращения слов, установленные соответствующими стандартами, а при их отсутствии – общепринятые в научно-технической литературе. Если в тексте используется специфическая терминология, обозначения, сокращения слов, то должны быть даны соответствующие разъяснения.

Определения, необходимые для уточнения или установления используемых терминов приводят в структурном элементе «Определения». Перечень определений начинают со слов: *«В настоящей работе применяют следующие термины с соответствующими определениями».*

Перечень обозначений и сокращений, применяемых в работе, содержит структурный элемент «Обозначения и сокращения». Запись обозначений и сокращений проводят в порядке приведения их в тексте с необходимой расшифровкой и пояснениями.

Допускается определения, обозначения и сокращения приводить в одном структурном элементе «Определения, обозначения и сокращения».

Перечень должен располагаться столбцом. Слева в алфавитном порядке приводят сокращения, условные обозначения, символы, и термины, справа — их детальную расшифровку.

3.6 Введение

Функциональное назначение введения состоит в подготовке к восприятию основного текста, вовлечению в проблематику содержания курсовой работы. Оно представляет собой одну из наиболее ответственных частей пояснительной записки, поскольку содержит в сжатой форме все положения, обоснованию которых посвящена работа.

Во введении курсовой работы:

- определяется объект и предмет исследования, формулируются цели, определяются задачи и методы исследования;
- определяется план исследования и кратко характеризуются основные разделы пояснительной записки;
- указывается принадлежность рассматриваемой технологии к определенному виду экономической деятельности (сфере экономики, отрасли производства);
- дается оценка современного состояния рассматриваемой технологии и тенденций ее развития, характеризуется динамика спроса на продукцию производства (на примере существующих предприятий);

- приводится характеристика типа производства по классификационным признакам: объем производства; серийность; уровень механизации и автоматизации; сложность; характер технологического процесса;

Объем введения составляет не более 2-х страниц.

3.7 Основная часть

Основная часть состоит из 2-х разделов: *теоретического* и *расчетно-графического*.

В теоретическом разделе приводится анализ технологического процесса как объекта автоматизации.

В расчетно-графическом разделе – результаты моделирования ТОУ.

Объем основной части – от 40 до 50 страниц.

4 Содержание теоретического раздела основной части пояснительной записки

Теоретическую часть курсовой работы следует назвать *Анализ (характеристика, исследование и т.п.) технологического процесса _____¹ как объекта автоматизации.*

Системный подход к исследованию и описанию технологических объектов управления определяет следующую структуру теоретической части курсовой работы:

- 1 Физико-химические основы производства.
- 2 Характеристика сырья, материалов, полупродуктов и энергоносителей.
- 3 Характеристика готовой продукции.
- 4 Характеристика технологических процессов и оборудования.
- 5 Характеристика технологического объекта как объекта управления.
- 6 Метрологическое обеспечение технологического объекта управления.

¹ Здесь указывается наименование конкретного производственного процесса или его части (см. раздел 1)

4.1 Физико-химические основы производства

В разделе с современных позиций в сжатой форме излагаются теоретические основы рассматриваемого в курсовой работе технологического процесса. Приводятся самые необходимые уравнения реакций, простейшие физико-химические закономерности процессов, протекающих в агрегатах, *оказывающие существенное влияние на эффективность работы ТООУ.*

Пример изложения раздела «Физико-химические основы производства» приведен в приложении В.

4.2 Характеристика сырья, материалов, полупродуктов и энергоресурсов

В разделе приводятся:

1. Техническое наименование продуктов в соответствии с нормативно-технической документацией.
2. Показатели, характеризующие все виды исходного сырья, материалов, полупродуктов и энергоресурсов, используемых в технологическом процессе производства.
3. При необходимости особо оговариваются специальные требования к сырью, материалам, полупродуктам и энергоресурсам, используемым в производстве.

Данные удобно систематизировать в виде таблицы (см., например, таблицу Таблица 1).

Таблица 1 – Характеристика сырья, материалов, полупродуктов и энергоресурсов

Наименование сырья, материалов, полупродуктов	Стандарт, регламент или методика на подготовку сырья	Регламентируемые показатели
1	2	3
...

Все показатели, включенные в таблицу, приводятся с допустимыми отклонениями.

4.3 Характеристика готовой продукции

В разделе приводятся:

1. Техническое наименование продукта в соответствии с нормативно-технической документацией.
2. Основные свойства и качество выпускаемой продукции, например, химический состав, механические, физико-химические свойства и константы; внешний вид и т. п. Все приведенные данные должны соответствовать аналогичным данным, приведенным в нормативно-технической документации, справочной или технической литературе, с обязательной ссылкой на них.
3. В случае получения нескольких продуктов характеристика приводится для каждого из производимых продуктов.
4. Область применения (основная).

4.4 Характеристика технологического процесса и оборудования

В данном разделе приводятся:

1. Место данного ТООУ в производственной структуре предприятия (цеха, подразделения).

Описание начинается с построения *производственной структуры*. При этом выявляется состав подразделений, наименование и число технологических агрегатов, механизмов и транспортных средств, закрепление их за подразделениями.

Некоторые ТООУ для удобства исследования следует представить как бы состоящими из множеств более простых. Поскольку выделение составляющих ТООУ условно, то первоначально исследуется комплексный ТООУ, а затем его составляющие.

В качестве аппарата формализованного описания структур наиболее широко используется терминология теории графов. Структуры в этом случае представляются в виде граф-схем, дополняемых таблицами характеристик и (или) спецификацией на

основное технологическое оборудование, которое используется для осуществления технологического процесса, и технические устройства.

Спецификацию на оборудование следует составлять по форме, приведенной в таблице Таблица 2.

Таблица 2 – Форма спецификации на основное технологическое оборудование и технические средства

Номер позиции по схеме	Наименование оборудования или технических устройств	Количество	Материал, способ защиты	Техническая характеристика
...

В графе «Техническая характеристика» кратко указываются основные данные: тип, марка, габариты, емкость и прочие характеристики.

Примеры описания производственной структуры показаны в приложении Г.

2. Принцип действия ТООУ, сведения о его конструктивном исполнении, технические характеристики оборудования, схемы компоновки оборудования и др.

Конструктивное исполнение агрегата характеризуется: наличием конструктивных элементов; наличием связи между элементами; взаимным расположением элементов; формой выполнения элементов или устройства в целом, в частности геометрической формой; формой выполнения связи между элементами; параметрами и другими характеристиками элементов и их взаимосвязей; материалами, из которых выполнены элементы или устройство в целом и т. п.

При описании принципа действия и конструктивного исполнения ТООУ в качестве иллюстративного материала следует приводить схемы – графическое изображение, дающее общее представление о предмете,

явлении или процессе с помощью условных обозначений и в произвольном масштабе, с пояснениями и комментариями.

Примеры оформления схем агрегатов приведены в приложении Д.

3. Описание технологического процесса.

Описание производится по стадиям технологического процесса, начиная с поступления и подготовки сырья и кончая отгрузкой готового продукта.

Приводятся следующие сведения:

- Тип технологического процесса (непрерывные, дискретные и дискретно-непрерывные).
- Операционная структура технологического процесса – схема, включающая логически упорядоченный набор технологических операций, последовательность и порядок их проведения.



Технологическая операция – это любое механическое или физико-механическое воздействие на материалы или преобразование одних материалов в другие.

- Основные технологические параметры процесса, при этом особо выделяются параметры, влияющие на обеспечение качества продукции и безопасность процесса.



Технологические параметры – совокупность режимов работы оборудования и характеристик используемой энергии, перерабатываемого сырья и материалов, которые требуют контроля и управления (давление, температура, скорость обработки, состав сырья и т. д.).

Все параметры, используемые для характеристики технологических процессов, можно объединить в две группы:

– к первой группе параметров относятся те, которые характеризуют индивидуальные особенности конкретных технологических процессов (давление, температура, скорость обработки, состав сырья и т. д.);

– ко второй группе параметров относятся те, которые характеризуют ряд однотипных технологических процессов (энергоёмкость, фондоемкость, расход различных видов материальных ресурсов на единицу продукции и металлоёмкость, параметры производительности и т. п.).

Модель производственного процесса можно представить графом, описывающим технологическую схему, каждой вершине которого поставлено в соответствие множество технологических параметров данной операции.



Совокупность параметров всех технологических операций производственного процесса, значение которых определено из условия получения конечного продукта заданного качества, называют **технологически режимом**.

- Технологические нормы с возможными допусками или интервалами, обеспечивающими безопасную эксплуатацию и получение готовой продукции заданного качества.
- Нормы расхода основных видов сырья, материалов и энергоресурсов.

Примеры представления структуры и описания технологического процесса приведены в приложении Е.

4.5 Характеристика технологического объекта как объекта управления

Для представления технологического процесса как объекта управления в данном разделе необходимо на основе общего описания изучаемого технологического процесса, систематизировать его параметры в соответствии с рисунками 1, 2.

1. Взаимосвязанную совокупность оборудования, на котором выполняется технологический процесс, назовем **технологической системой**.

Отвлекаясь от физической сущности, представим технологическую систему в виде *многомерного объекта*, описываемого тремя группами переменных. (см. Рисунок 1).

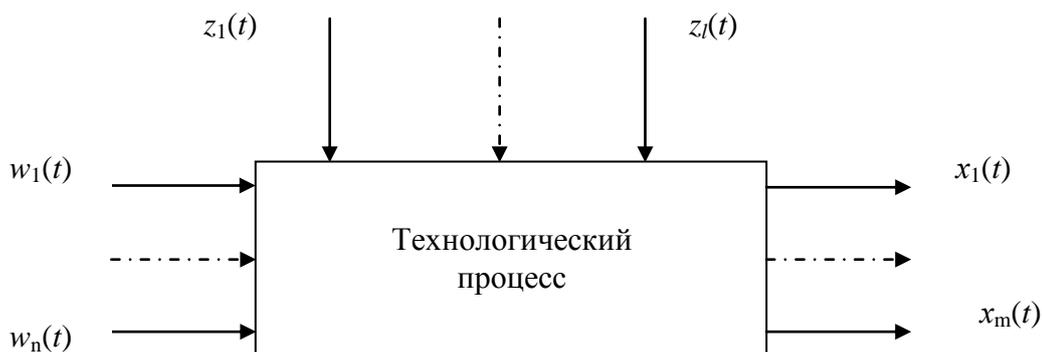


Рисунок 1 – Блок-схема многомерного технологического процесса с выделением параметров, характеризующих ход процесса

На *входе* объекта действует векторная переменная¹ $w(t)$ с составляющими $w_1(t), \dots, w_n(t)$. К этим переменным относят все свойства сырья или заготовок, используемых на данном технологическом объекте (температура, химический состав, механические свойства, размеры, количество, и т. п.).

Вторая группа переменных $v(t) = \{v_1(t), \dots, v_m(t)\}$ представляет собой параметры, характеризующие свойства *выходного* продукта или полуфабриката (химический состав, размеры, количество и т. п.).

Третья группа составлена из параметров, характеризующих *условия протекания технологического процесса*. Обозначим их векторной переменной $z(t) = \{z_1(t), \dots, z_i(t)\}$. К этим параметрам относятся характеристики хода технологического процесса - давление и температура в технологическом агрегате, скорость и координаты рабочих частей механизма, число оборотов производительность и др.

Однако размерность векторов $w(t)$, $v(t)$ и $z(t)$ в реальных технологических системах обычно весьма велика и учесть все их составляющие принципиально невозможно (превышает возможности управляющего органа по обработке информации (оператора или автоматического устройства). Кроме того, на практике часть переменных либо не требуется измерять, т. е. они несущественны с точки зрения цели управления, либо измерять невозможно из-за

¹ Число величин может быть очень большим, поэтому удобно считать их координатами вектора

технических сложностей. Поэтому только часть составляющих векторов $w(t)$, $v(t)$ и $z(t)$ учитывают при контроле и управлении технологическим процессом и $w(t)$, $v(t)$ и $z(t)$ рассматриваются как случайные функции.

2. Выделим среди перечисленных выше переменных те, которые могут характеризовать состояние технологической системы ($x(t)$ - *вектор состояния*), управляющие переменные ($u(t)$ - *вектор управления*) и вектор возмущения $f(t)$.

В общем случае состояние технологической системы $x(t)$ характеризуется всеми выделенными выше переменными. Действительно, для определения управляющего воздействия нужна информация как о свойствах и количестве входных и выходных продуктов, так и об условиях протекания процесса.

Значения выходных переменных $v(t)$ зависят от $w_1(t), \dots, w_n(t)$ и $z_1(t), \dots, z_l(t)$. По отношению к каждой из выходных переменных вектора $v(t)$, которые могут рассматриваться как следствия осуществления данного технологического процесса, составляющие векторов $w(t)$ и $z(t)$ могут рассматриваться как причины, и в общем случае их влияние сказывается на $v(t)$. Поэтому при общем рассмотрении нет необходимости разделять переменные $w(t)$ и $z(t)$ и они обычно объединяются в *группу входных переменных*.

Входные переменные необходимо разделить на *управляющие* и *возмущающие* воздействия.

В качестве *управляющих* переменных обычно выбирают те составляющие $w(t)$, и $z(t)$, целенаправленное изменение которых технически возможно и существенно влияет на показатель цели управления.

Будем считать управляющие воздействия координатами вектора $u(t)$:

$$u(t) = \{u_1(t), u_2(t), \dots, u_k(t)\}.$$

Возмущающие воздействия в свою очередь можно разделить на *контролируемые* $\varphi_i(t)$ и *неконтролируемые* $\psi_i(t)$:

$$f(t) = \{f_1(t), \dots, f_k(t)\};$$

$$\psi(t) = \{\psi_1(t), \dots, \psi_l(t)\}.$$

Первые из них имеют вполне определенные и измеряемые значения, которые, однако, не могут быть изменены управляющей частью системы.

Неконтролируемые возмущающие воздействия или помехи также имеют вполне определенные и не подвластные управляющей части системы значения, но они не измеряются.

На основе вышеизложенного технологический процесс можно изобразить в виде следующей схемы (см. Рисунок 2):

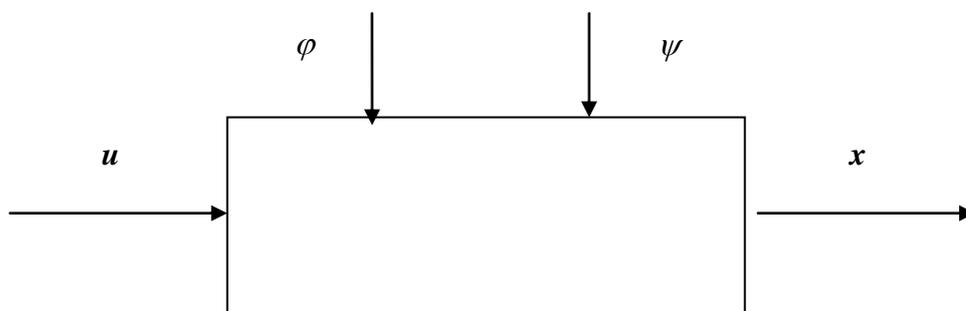


Рисунок 2 – Входные и выходные параметры технологического процесса

На ее информационные входы действуют векторные функции $u(t)$ (вектор управления) и $f(t)$ (вектор возмущения, с составляющими $\varphi(t)$, $\psi(t)$), а на информационном выходе — векторная функция $x(t)$ (вектор состояния), т.е. технологическую систему можно представить как преобразователь функций $u(t)$ и $f(t)$ в функцию $x(t)$). Каждая выходная переменная $x_1(t), \dots, x_k(t)$ в общем случае определяется всеми входными переменными. Поэтому

$$x(t) = F(u(t), f(t), \psi(t)) \quad (1)$$

где F – оператор преобразования, т. е. закон соответствия между двумя множествами функций.

Выражение (1) является формальным описанием технологической системы, т.е. моделью. Конкретное выражение

оператора F зависит от физических свойств технологической системы и устанавливается при ее идентификации.

3. В заключении раздела необходимо охарактеризовать задачи управления изучаемым технологическим объектом.

Пример систематизации параметров технологического процесса приведен в в приложении В.

4.6 Метрологическое обеспечение технологического объекта управления

В данном разделе приводятся:

1. Перечень измеряемых технологических параметров.
2. Перечень рациональных технологических требований к уровню измерений:
 - рабочий диапазон измерений;
 - технологически допустимый предел погрешности измерений – наибольший (без учета знака) допустимый предел с точки зрения конкретной технологии и качества продукции;
 - технологически допустимый предел производственного запаздывания информации – наибольший допустимый срок ее поступления потребителю на управление.
3. Технологическая схема измерений.
4. Перечень используемых или рекомендуемых средств измерений и их метрологические характеристики (диапазон измерений, погрешность средств измерений и т. п.).

Примеры описания метрологического обеспечения ТОУ приведены в приложении К.

5 Содержание расчетно-графического раздела основной части пояснительной записки

Раздел должен содержать:

1. Описание постановки задачи: цель построения модели, исходные данные, требуемый результат.
2. Обоснование выбора метода моделирования и компьютерной технологии решения задачи.
3. Краткое теоретическое описание выбранного метода моде-

лирования.

4. Описание вычислительной процедуры
5. Анализ полученных результатов.

Основную часть данного раздела КР составляют расчеты, которые должны сопровождаться необходимыми пояснениями, выводами и иллюстративным материалом: таблицы, графики, диаграммы, гистограмма т.д.

Графический материал выполняется с обязательным применением компьютерной графики.

Таблицы и графический материал оформляются в соответствии с принятыми требованиями [1].

6 Демонстрационный материал

Демонстрационный материал (презентация курсовой работы) должен содержать документы, обеспечивающие наглядное изложение сути КР, а именно:

- тему работы; фамилию, имя и отчество исполнителя; шифр группы; фамилию, имя, отчество и должность руководителя;
- содержание основной части;
- заключение и выводы.

Требования к содержанию и объему демонстрационного материала определяются студентом совместно с руководителем курсовой работы. При этом следует исходить из того, что представленный демонстрационный материал должен активно и полностью использоваться при докладе в процессе защиты работы.

Список рекомендуемой литературы

1. Правила оформления учебных работ студентов [Текст] : учебно-методическое пособие / И. А. Жибинова [и др.] ; Новокузнецк ин-т (фил.) Кемеров. гос. ун-та ; под ред. И. А. Жибиновой. – Новокузнецк: НФИ КемГУ, 2018. – 124 с.
2. Юсупов Р. Х. Основы автоматизированных систем управления технологическими процессами: Учебное пособие / Юсупов Р.Х. - М.:Инфра-Инженерия, 2018. - 132 с.: 60x84 1/16 (Переплёт) ISBN 978-5-9729-0229-3 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/989081>
3. Волкова, Е. С. Автоматизация технологических процессов: Учебное пособие / Фурсенко С.Н., Якубовская Е.С., Волкова Е.С. - М.:НИЦ ИНФРА-М, Нов. знание, 2015. - 377 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат) ISBN 978-5-16-010309-9 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/483246>
4. Перухин, М. Ю. Современная автоматика в системах управления технологическими процессами: Учеб. пос. / В.П. Ившин, М.Ю. Перухин - М.: НИЦ Инфра-М, 2013 - 400 с.: 60x90 1/16 + (Доп. мат. znanium.com). - (Высшее обр.: Бакалавр.). (п) ISBN 978-5-16-005162-8 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/363591>
5. Благовещенская, М. М. Информационные технологии систем управления технологическими процессами [Текст] : учебник для вузов / М. М. Благовещенская, Л. А. Злобин. - М. : Высшая школа, 2005. - 768 с. - Гриф МО "Допущено.
6. Основы автоматизации управления производством [Текст] : учеб. Пособие для студентов техн. вузов / И. М. Макаров [и др.] ; под ред. И. М. Макарова. – М. : Высш. Школа, 1983. – 504 с.
7. Справочник проектировщика автоматизированных систем управления технологическими процессами [Текст] : справочник / Г. Л. Смилянский [и др.] ; под ред. Г. Л. Смилянского. – Москва: Машиностроение, 1983. – 527 с.
8. Серов Ю. В., Метрологическое обеспечение технологических процессов черной металлургии (метрология и информатика) [Текст] :

справ. / Ю. В.Серов. – В 2-х кн. – Кн. 1. – М.: Металлургия, 1993. – 272 с.

9. Козлов, А. Ю. Статистический анализ данных в MS Excel : [Электронный ресурс] учебное пособие / А.Ю. Козлов, В.С. Мхитарян, В.Ф. Шишов. - М.: ИНФРА-М, 2012. - 320 с. – Режим доступа: <http://znanium.com/bookread.php?book=238654>

10. Тюрин Ю.Н. Анализ данных на компьютере : Учебное пособие / Ю. Н. Тюрин, А. А. Макаров. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : ИНФРА-М, 2003. - 544с.

Приложение А

Образец титульного листа пояснительной записки к курсовой работе

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Новокузнецкий институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Кемеровский государственный университет»

Факультет информатики, математики и экономики

Кафедра информатики и вычислительной техники им. В. К. Буторина

Иванов Иван Иванович
гр. ИВТ-16-1

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ЧУГУНА В ДОМЕННОЙ ПЕЧИ КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ

Курсовая работа

по дисциплине «Автоматизированные системы управления технологическими
процессами»

по направлению подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника
направленность (профиль) подготовки «Автоматизированные системы обработки
информации и управления»

Проверил:
канд. техн. наук
И. А. Жибинова

Общий балл: _____

Оценка: _____

_____ подпись

«____» _____ 20____ г.

Новокузнецк 20_____

Приложение Б

Образец листа задания на курсовую работу

Новокузнецкий институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Кемеровский государственный университет»

Факультет информатики, математики и экономики

Кафедра информатики и вычислительной техники им. В. К. Буторина

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

_____ О. В. Михайлова

подпись

« ____ » _____

дата

ЗАДАНИЕ

на курсовую работу
студенту гр. ИВТ-16-1 Иванову Ивану Ивановичу

1. Тема курсовой работы «Анализ технологического процесса производства чугуна в доменной печи как объекта автоматизации» утверждена распоряжением декана № 01–14/1 от 10.11.2016 г.

2. Исходные данные: печатные и электронные учебные издания, техническая документация, ресурсы сети интернет.

Содержание работы (перечень подлежащих разработке вопросов): Физико-химические основы производства чугуна; характеристика сырья и исходных материалов; характеристика готовой продукции; характеристика технологического процесса и оборудования; характеристика технологического объекта как объекта управления; метрологическое обеспечение технологического объекта управления; построение и анализ трендовой модели по данным промышленной эксплуатации доменной печи.

3. Перечень иллюстративного материала: схемы технологического процесса, производственной структуры, материальных потоков, технологические схемы оборудования, схемы

видов измерений метрологического обеспечения доменного производства.

4. Задание выдано: «__» _____ 20__ г.

5. Срок сдачи курсовой работы: «__» _____ 20__ г.

Руководитель канд. экон. наук _____ И. А. Жибинова

Студент гр. ИВТ-16-1 _____ И. И. Иванов

Приложение В

Вариант изложения раздела **«Физико-химические основы производства»** в курсовой работе на тему **«Анализ технологического процесса производства чугуна в доменной печи как объекта автоматизации»**

Доменный процесс – это комплекс физико-химических процессов, протекающих последовательно по всей высоте доменной печи.

Горение топлива в горне доменной печи

Горение – сложный физико-химический процесс, основой которого является быстропотекающая химическая реакция окисления, сопровождающаяся выделением значительного количества теплоты и обычно ярким свечением (пламенем).

Горение топлива – кокса и его заменителей (молотого угля, мазута, природного газа) – происходит в горне доменной печи в среде нагретого до 1100–1350 °С воздуха (горячего дутья), подаваемого в горн печи через воздушные фурмы. Дутье обогащают кислородом до 24–28 %. Под воздействием воздушной струи слой кокса перед фурмами разрыхляется с образованием полостей, где горящие куски кокса, захваченные газовым потоком, совершают циркуляционные перемещения.

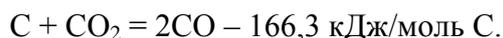
Куски кокса, упавшие сверху в полость, захватываются газовыми струями и движутся от фурмы к задней стенке очагов горения.

Полости перед фурмами называют очагами или зонами горения кокса. В этих зонах горит также топливо, вдуваемое с воздушным дутьем. Характерными параметрами зоны горения являются ее геометрические размеры (глубина и высота простираения) и температура газа. Эти параметры оказывают большое влияние на работу доменной печи. Глубина зоны горения достигает 1500–1900 мм. При диаметре горна 14 м доменной печи объемом ~ 4500 м³ и его площади 620 м² площадь зоны горения кокса, расположенная по внешнему контуру горна, составляет 70–85 м² или 11–14%.

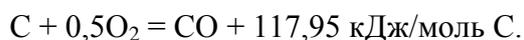
Сгорание кокса происходит на поверхности кусков в результате взаимодействия с окислительными газами. Во внутренней, прилегающей к фурме части зоны горения (кислородная зона), углерод, реагируя с кислородом, окисляется до СО₂:



В периферийной (углекислотной) части зоны горения, где кислород уже израсходован и содержится лишь СО₂, углерод окисляется (газифицируется), реагирует с СО₂:

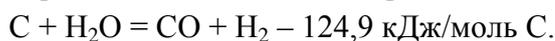


Суммарная реакция сгорания представляется уравнением:

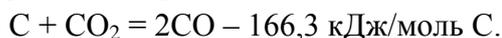


При использовании как окислителя сухого воздуха состав горнового газа будет следующим: 34,7 % СО и 65,3 % N₂. Обогащение дутья кислородом способствует

повышению содержания CO в газе. Увлажнение дутья вызывает появление в горновом газе водорода вследствие течения реакции:



При воздушном дутье температура в центре окислительной зоны, где идут экзотермические реакции окисления углерода до CO₂, достигает 1900–2100 °С, а на границе окислительной зоны снижается до 1650–1600 °С вследствие протекания эндотермической реакции:

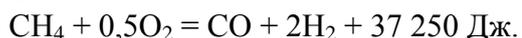


В центральной части горна температура составляет 1400 – 1500 °С.

Поскольку кокс является дорогим и дефицитным материалом, то стремятся к снижению его расхода за счет вдувания в горн через воздушные фурмы различных углеродсодержащих веществ – молотого угля, мазута, природного газа.

Вдувание молотого угля. Основной эффект от применения молотого угля заключается в непосредственной замене углерода кокса углеродом каменного угля. Уголь практически не содержит водорода, и поэтому в отличие от углеводородов он не влияет на ход восстановительных процессов.

Вдувание природного газа. Основу природного газа составляет метан CH₄. В горне происходит неполное горение газа с образованием CO и H₂:



При этом горновой газ обогащается водородом до 8–15 %. При вдувании природного газа расход кокса снижается как за счет образования дополнительного тепла, так и за счет повышения степени косвенного восстановления (участие в процессах восстановления водорода). При вдувании природного газа необходимо обогащение дутья кислородом до 25–30 %.

Средний расход природного газа составляет 100 м³/т чугуна.

Вдувание мазута. Мазут состоит из сложных углеводородов C_mH_n. Он оказывает аналогичное природному газу воздействие на доменную плавку. Отличие заключается в том, что теплота сгорания мазута (~ 40 000 кДж/кг) выше, чем у природного газа (~ 36 000 кДж/м³), и он вносит меньше водорода. Мазут вдувают в распыленном виде.

Движение материалов в доменной печи

Шихтовые материалы, загруженные на колошник (верхнюю часть доменной печи) медленно опускаются. Опускание связано с тем, что в горне печи сгорает кокс, образуются жидкие продукты плавки, через летки почти непрерывно или периодически выпускают жидкие чугун и шлак. Длительность пребывания материалов в доменной печи составляет 4–6 ч. Навстречу твердым материалам с большой скоростью по всему сечению печи движется газовый поток. Газы образуются при сгорании топлива около фурм. Длительность пребывания газа в доменной печи ~ 3 с. За это время газы максимально отдают тепло холодным материалам и восстанавливают оксиды металлов. Противоток движущихся сверху вниз холодных твердых материалов и снизу вверх горячих газов обеспечивает высокие скорости тепло – и массообменных процессов.

Важную роль в работе доменной печи играет распределение газового потока по сечению шахты и колошника. Его регулирование осуществляют изменением высоты

(уровня) столба шихтовых материалов на колошнике и порядком засыпки материалов на колошнике.

Физико–химические процессы в доменной печи

Нагрев шихты. В зоне сгорания кокса температура составляет 1900–2100°C, газообразные продукты сгорания (CO, CO₂, H₂, H₂O), азот воздуха нагреваются до высокой температуры и устремляются вверх. Тепло газов передается твердым материалам. Степень нагрева материалов зависит от того, как далеко они расположены от горна и какой газопроницаемостью обладают. В верхней части горна температура газов достигает 2000 °С, в районе распара печи – 1200 °С, в нижней части шахты – 1100 °С. Газы, достигшие колошника, успевают отдать большую часть тепла шихтовым материалам и имеют температуру 200–400 °С.

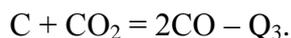
При опускании шихтовые материалы изменяют свой состав и свойства. В них протекают следующие процессы: удаление влаги и летучих веществ, размягчение, восстановление оксидов металлов, плавление, образование чугуна и шлака.

Удаление влаги и летучих веществ. При нагревании материалов (руды, агломерата, окатышей, флюсов) до 100–200 °С из них удаляется физическая (гигроскопическая) влага. При температуре 200–500 °С из материалов удаляется химически связанная в соединения (гидратная) влага. Из кокса при 300–400 °С удаляются остатки летучих веществ органического происхождения (CO₂, CH₄, H₂).

При температуре ~1000°C происходит интенсивное разложение углекислых соединений – карбонатов CaCO₃ и MgCO₃ по реакциям:



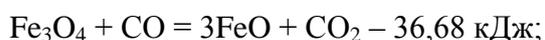
Эти реакции эндотермические, т. е. протекают с поглощением тепла. Образующийся при разложении карбонатов углекислый газ CO₂ реагирует с углеродом кокса также с поглощением тепла по реакции:

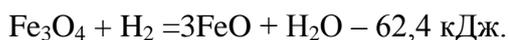


В современной технологии доменного производства с целью экономии кокса известняк и доломит в шихту практически не вводят, а для получения шлака надлежащей основности используют офлюсованные агломерат и окатыши. Выведение из шихты 1 кг известняка позволяет экономить 0,4 кг кокса.

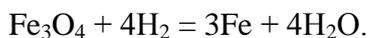
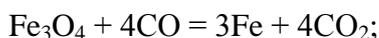
Восстановление железа. Восстановителями оксидов железа могут выступать углерод кокса С, газы СО и Н₂. Восстановление твердым углеродом называют прямым, а восстановление газами – косвенным.

Процесс восстановления железа в доменной печи протекает следующим образом. Во всем объеме печи, начиная от верха колошника до участков с температурой 900–1000 °С, протекают процессы косвенного восстановления оксидов газом СО и частично Н₂. В этой зоне косвенного восстановления высшие и средние оксиды железа успевают восстановиться до FeO:





Часть оксидов железа восстанавливается до железа, причем частицы восстановленного железа обнаруживаются в шихте уже на уровне колошника при температурах менее 570 °С:



В зоне высоких температур (>900–1000 °С) располагается зона смешанного восстановления: часть FeO восстанавливается до железа как косвенным, так и прямым путем из твердой или жидкой фазы:



В зонах с температурами свыше 1100–1250 °С, когда сформировался жидкий шлак, в котором растворены оксиды железа, железо восстанавливается прямым путем из жидкого шлака при отекании его капель вниз между кусками кокса. Железо при восстановлении получается в твердом виде и имеет форму губки. Схема расположения зон косвенного, смешанного и прямого восстановления оксидов железа в доменной печи показана на рисунке В.1.

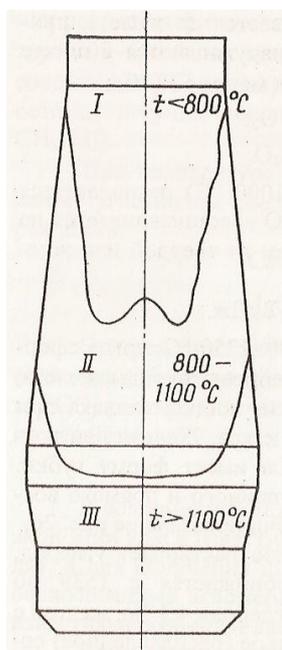


Рисунок В.1 – Расположение зон косвенного (I), смешанного (II) и прямого (III) восстановления в доменной печи

В зоне горна восстановленное железо растворяет углерод, температура плавления железа резко понижается с 1539 до 1147 °С (при эвтектическом содержании углерода 4,3 %), железо с растворенным углеродом переходит в жидкое (расплавленное) состояние, образуя чугуны. В него переходят также восстановленные другие элементы и сера. В доменной печи железо восстанавливается почти полностью. Степень восстановления железа составляет 0,990-0,998, что означает, что 99,0-99,8 % железа переходит в чугуны и лишь 0,2-1,0 % остается в шлаке.

Степень прямого восстановления оксидов железа в доменных печах зависит от многих параметров (температуры дутья, вдувания природного газа, мазута или молотого угля, давления газа на колошнике и др.) и колеблется в пределах 20–60 %.

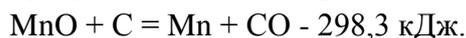
Наряду с железом в доменной печи восстанавливаются другие элементы - Si, Mn, P, V, Cr и др. После восстановления они переходят в чугун. Железо выступает катализатором реакций восстановления примесных элементов.

Восстановление кремния протекает по реакции прямого восстановления:



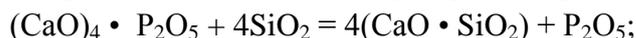
Восстановлению кремния способствуют высокие температуры в зоне горна, а также кислые шлаки, в которых основность (отношение концентрации оксидов кальция и кремния в шлаке) $(\% \text{CaO}) / (\% \text{SiO}_2) < 1$. В чугуне, предназначенном для последующего передела в сталь (передельном чугуне), концентрация кремния обычно составляет 0,5-0,8 %.

Восстановление марганца. В состав руд марганец входит в виде оксидов MnO_2 , Mn_2O_3 , Mn_3O_4 . Эти оксиды легко восстанавливаются до MnO косвенным путем. Низший оксид марганца - MnO является химически более прочным и восстанавливается прямым путем, требуя значительного расхода тепла:



В доменной печи восстанавливается 55-65 % содержащихся в шихте оксидов марганца. В современной технологии доменной плавки в шихту марганцевую руду не вводят, и чугун содержит столько марганца (от 0,1 до 0,3-0,5 %), сколько его восстанавливается из оксидов марганца, содержащихся в железных рудах в качестве примесей. Восстановлению марганца способствует повышенная концентрация оксидов марганца в шихте, повышенная температура в горне и основность шлака $(\% \text{CaO}) / (\% \text{SiO}_2) > 1$. Присутствие марганца в чугуне, предназначенном для передела в паль, в количествах 0,5-1 % желательны, поскольку это улучшает шлакообразование в конвертерном процессе производства стали.

Восстановление фосфора. Фосфор в большинстве случаев отрицательно влияет на свойства чугуна и стали. Поэтому стремятся ограничить содержание этого элемента в чугуне. Фосфор попадает в доменную печь с минералами пустой породы руды, агломерата или окатышей. Чаще всего фосфор находится в пустой породе в виде прочного соединения соли тетракальцийфосфата $(\text{CaO})_4 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$. Данная соль в присутствии кремнезема при высоких температурах разлагается с образованием фосфорного ангидрида P_2O_5 , который восстанавливается углеродом прямым путем с большой затратой тепла:



В реальных условиях доменной плавки при основности шлака $(\% \text{CaO}) / (\% \text{SiO}_2) = 1,1 - 1,25$ оксид P_2O_5 является непрочным, легко восстановимым, и весь фосфор шихты переходит в чугун. Добиться получения чугуна с низким содержанием фосфора можно, лишь применяя низкофосфористую шихту или проводя внедоменное удаление фосфора.

Восстановление других элементов. О возможности восстановления элементов в условиях доменной плавки судят по величине их химического сродства к кислороду,

определяемой изменением энергии Гиббса ΔG°_{298} от образования оксидов из чистого элемента при стандартных условиях.

По возрастанию сродства к кислороду элементы располагаются в следующем порядке: Cu, As, Ni, Fe, P, Zn, Mn, V, Cr, Si, Ti, Al, Mg, Ca. Соответственно, степень восстановления элементов в доменной печи тем меньше, чем правее стоит элемент в приведенном ряду по отношению к железу.

Такие элементы, как никель, медь, мышьяк, подобно железу и фосфору, почти целиком восстанавливаются в печи и переходят в чугун.

Ванадий и хром восстанавливаются подобно марганцу - соответственно на 70-80 и 80-90 %, а титан - аналогично кремнию, хотя степень его восстановления значительно ниже. Алюминий, магний и кальций в доменной печи не восстанавливаются.

Образование чугуна. Окончательно чугун в расплавленном состоянии формируется в горне. Восстановленное железо, первоначально находящееся в твердом состоянии, растворяет углерод, температура сплава железа и углерода понижается, сплав переходит в жидкое состояние, образуя чугун. Восстановленные элементы - марганец, кремний, фосфор и другие растворяются в чугуне. В чугуне растворяется также сера шихтовых материалов и золы кокса. Содержание углерода в чугуне зависит от его температуры и состава и колеблется в пределах 4,3-5,3 %.

Шлакообразование. Параллельно с образованием чугуна в доменной печи образуется шлак из невосстановившихся оксидов CaO, MgO, Al₂O₃, SiO₂, содержащихся в пустой породе сырых материалов, флюсов и золы кокса, а также небольших количеств MnO, FeO и CaS.

Процесс шлакообразования заключается в получении легкоплавких соединений, температура плавления которых гораздо ниже температуры плавления каждого из входящих в состав шлака оксидов в отдельности. Шлак в доменной печи образуется в результате расплавления пустой породы руды, агломерата, окатышей и флюса, к которым впоследствии присоединяется зола кокса.

При опускании в печи шихтовых материалов сохраняется их слоевое расположение (чередование слоев агломерата и кокса), и материалы остаются твердыми до поступления в участки печи с температурой около 1000-1100 °С, где начинается пластичная зона за счет размягчения железорудных материалов. Ниже этой зоны при температурах 1200-1250 °С происходит образование первичного шлака за счет расплавления части оксидов. Первичный шлак характеризуется повышенной концентрацией MnO и FeO (до 6-10 и 25-30 % соответственно). Количество первичного шлака невелико. Этот шлак стекает вниз, нагревается и изменяется по составу и количеству. В нем увеличивается содержание CaO, MgO, Al₂O₃, SiO₂; содержание MnO и FeO уменьшается вследствие восстановления оксидов марганца и железа. Когда шлак попадает в горн печи, почти все железо и основное количество марганца успевают восстановиться. На горизонте фурм в шлак переходит зола кокса. В конечном шлаке полностью растворяется известь. В шлаке растворяется также сульфид кальция, образующийся за счет взаимодействия оксида кальция с серой.

Важнейшими характеристиками шлака являются температура плавления и текучесть (вязкость). Первичные легкоплавкие шлаки имеют большую плотность вследствие высокого содержания в них оксидов FeO и MnO. Такие шлаки, как правило, быстро стекают в горн. Время их собственного прогрева значительно сокращается, и в горне печи на них тратится большое количество тепла не только для восстановления оксидов железа и марганца твердым углеродом, но и для нагрева. Вязкий шлак опускается медленно и задерживает сход шихты у стен, как бы «приклеивая» к стенам печи твердые и размягченные куски шихты. Кроме того, вязкий шлак, заполняя пространство между кусками шихты и кокса, ухудшает газопроницаемость шихты, приводит к расстройству хода печи.

Следовательно, при подборе шихты необходимо избегать очень вязких и чрезмерно текучих первичных шлаков. Для ровной экономичной работы доменной печи необходимо, чтобы шлак был достаточно текучим при 1400-1500 °С.

На вязкость и тугоплавкость шлаков оказывает влияние их химический состав, соотношение концентрации CaO, MgO, Al₂O₃, SiO₂. Важной характеристикой шлака является его основность.

В зависимости от отношения концентраций основных (CaO, MgO, BaO, FeO, MnO) и кислотных (SiO₂, TiO₂, P₂O₅) оксидов шлаки делятся на кислые и основные.

К кислым относятся шлаки, для которых (% CaO) / (% SiO₂) менее 1, а к основным - шлаки с основностью 1,20 и более. Шлаки, имеющие основность от 1,0 до 1,20, принято называть шлаками с пониженной основностью.

Преобладание кремнезема и глинозема над известью делает шлаки густыми, тягучими, медленно застывающими и переходящими при охлаждении в стекловидную массу.

Шлаки, для которых (% CaO) / (% SiO₂) = 1 или немного более, в расплавленном состоянии жидкие, текучие, но для расплавления их требуется значительное количество теплоты. Застывают такие шлаки быстро, при охлаждении не проходят через тестообразное состояние. В застывшем виде имеют камневидный излом.

При повышенной основности (% CaO) / (% SiO₂) > 1,4 шлаки резко теряют свою текучесть, делаются густыми, но не тягучими. При охлаждении они рассыпаются в порошок.

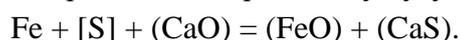
Основные шлаки способствуют удалению из чугуна серы, восстановлению железа и марганца, а кислые шлаки – восстановлению кремния. Для обеспечения ровной и экономичной работы доменных печей при выплавке передельного чугуна основность конечного шлака (% CaO) / (% SiO₂) поддерживают в пределах 1,10-1,25. Такой шлак обладает хорошей жидкотекучестью при температурах > 1400 °С.

В конечном шлаке доменных печей сумма концентраций трех оксидов % CaO + % SiO₂ + % Al₂O₃ = 85 + 95 %. Кроме того, шлак содержит 2-10 % MgO, 0,2 - 0,6 % FeO, 0,3 - 3,0 % MnO и 1,5-2,5 % S в виде CaS. Содержание в шлаке 5-8 % MgO обеспечивает хорошую текучесть шлака.

Поведение серы. Сера является для большинства марок стали вредной примесью, понижающей свойства металла. На всех стадиях производства стараются снизить содержание серы в металле. В чугунах может растворяться до 0,9 % серы.

Сера в доменную печь вносится железосодержащими материалами (рудой, агломератом, окатышами), флюсами и коксом. В доменной печи сера распределяется между чугуном, шлаком, газом и пылью. Сера может улетучиваться в виде паров сернистого газа SO_2 , сероводорода H_2S и других газообразных соединений. При горении кокса часть серы может окисляться до SO_2 и уноситься газами.

Однако, значительная часть серы (60-80 %) остается в печи и переходит в чугун и шлак. Распределение серы между чугуном и шлаком описывается реакцией:



Процесс удаления серы из металла называют десульфурацией. Показателем процесса десульфурации металла служит коэффициент распределения серы между шлаком и металлом.

Десульфурация металла шлаком происходит тем полнее при данной температуре, чем выше активность (в первом приближении концентрация) оксида кальция $a_{(\text{CaO})}$ в шлаке и чем ниже активность (концентрация) в нем оксида железа $a_{(\text{FeO})}$. Для обеспечения наилучших условий десульфурации необходимо работать на основных известковистых шлаках при высокой температуре в горне. С ростом основности шлака повышается $a_{(\text{CaO})}$. Высокая температура необходима для обеспечения хорошей жидкоподвижности (текучести) шлака, обуславливающей протекание реакции удаления серы с высокой скоростью. Процесс десульфурации чугуна протекает в горне доменной печи ниже оси воздушных фурм, когда капли образовавшегося чугуна стекают в горн, проходя через слой шлака.

При выплавке передельных чугунов значение упрощенного коэффициента распределения серы

$$L'_s = (\text{S}) / [\text{S}],$$

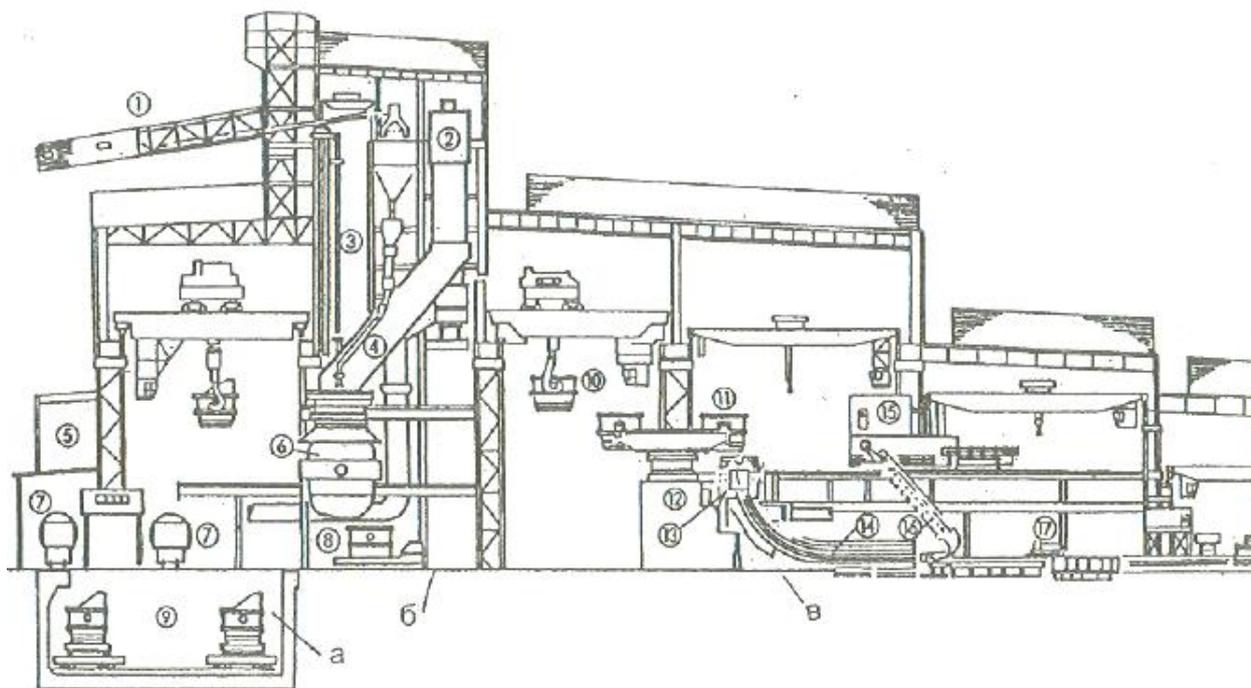
где (S) и [S] - содержание серы соответственно в шлаке и чугунах, %, при основности шлака 1 и более составляет 30–70. При меньшей основности L'_s может достигать 20 и менее. Содержание серы в чугунах составляет 0,015-0,050 %, в шлаке - 0,55-2,0 %.

Приложение Г

Варианты описания производственной структуры

Пример Г.1.

Конвертерный цех состоит из нескольких отделений (пролетов), главными из которых являются шихтовый пролет, через который поступают стальной скрап и жидкий чугун, конвертерный пролет, в котором установлены один, два или три конвертера, и отделение непрерывной разливки стали. На рисунке Г.1 представлен поперечный разрез одного из современных конвертерных цехов с конвертерами большой вместимости и подачей жидкого чугуна из доменного цеха в ковшах миксерного типа.



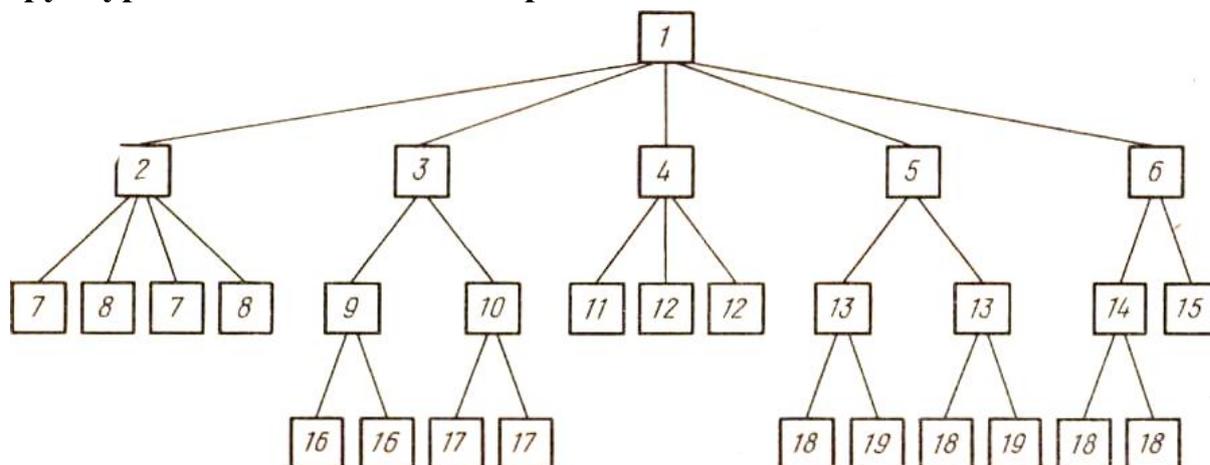
a – шихтовый пролет; *б* – конвертерный пролет;

в – отделение непрерывной разливки стали;

1 – транспортер подачи сыпучих материалов; 2 – вертикальный газоход; 3 – кислородная фурма; 4 – котел-утилизатор; 5 – пульт управления конвертером; 6 – 310-т конвертер; 7 – 600-т чугуновозный ковш миксерного типа; 8 – сталевоз; 9 – пост (канавка) перелива чугуна из ковшей миксерного типа в заливочные ковши; 10 – сталеразливочный ковш с металлом; 11 – сталеразливочный ковш во время разливки стали; 12 – поворотный стенд для смены ковшей при непрерывной разливке; 13 и 14 – установка непрерывной разливки стали (УНРС); 15 – пульт управления УНРС; 16 – затравка; 17 – порезка заготовок на мерные длины

Рисунок Г.1 – Разрез конвертерного цеха

Пример Г.2 - Пример оформления схемы производственной структуры сталеплавильного производства



1 - конверторный цех; 2 - миксерное отделение; 3 - шихтовое отделение; 4 - конверторное отделение; 5 - разливочное отделение; 6 - отделение подготовки составов; 7 - миксер; 8 - мостовой кран с захватом; 9 - двор сыпучих материалов; 10 - двор магнитных материалов; 11 - завалочная машина; 12 - конвертор; 13 - разливочная площадка; 14 - двор изложниц; 15 - машина для очистки изложниц; 16 - ленточный конвейер; 17 - мостовой магнитный кран; 18 - мостовой кран с захватом; 19 - разливочный ковш

Рисунок Е.2 – Пример производственной структуры сталеплавильного производства

Пример Г.3 - Пример характеристики технологических объектов управления

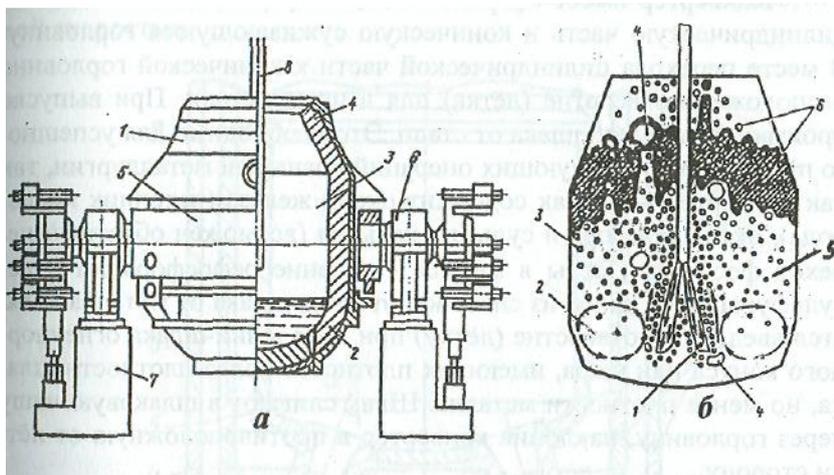
Структурное подразделение	Технологический объект		Производительность одного объекта, плавков/сут.			Объем, м ³	Технологическая операция	Способ выполнения операции
	название	число	всего	в том числе МК-12	в том числе К-8			
Конверторное отделение	Конвертер съемный	3	45	40	5	100	Плавка	С верхней продувкой
Разливочный пролет	Стенд	4	45	40	5	25	Разливка	Сифонная

Приложение Д

Варианты оформления и описания схем технологического оборудования

Пример Д.1 - Кислородный конвертер

На рисунке Д.1 приведена схема кислородного конвертера. Кислородный конвертер представляет собой симметричный цилиндрический сосуд. Конвертер имеет стальной кожух, закрепленный в опорном кольце. В опорном кольце установлены две цапфы, которые позволяют конвертеру вращаться относительно поперечной оси на угол 360° в любую сторону. Наклоны конвертера необходимы для завалки лома, заливки чугуна и выпуска продуктов плавки.



а) 1 – корпус; 2 – огнеупорная футеровка; 3 – рабочее пространство; 4 – горловина; 5 – опорное кольцо; 6 – опорный подшипник; 7 – станина; 8 – водоохлаждаемая фурма для подвода кислорода;

б) 1 – зона продувки (прямого реагирования металла с кислородом); 2 – зона циркуляции металла; 3 – пузыри; 4 – крупные газовые полости; 5 – металл; 6 – шлак

Рисунок Д.1– Схема конструкции кислородного конвертера (а) и структуры ванны при продувке кислородом сверху (б)

Внутри конвертер имеет огнеупорную основную футеровку, состоящую обычно из двух слоев: арматурного и рабочего. Арматурный слой (слой длительной работы) примыкает к кожуху, он имеет толщину 110-250 мм. Он предназначен для снижения теплопотерь и защиты кожуха в случае прогара рабочего слоя. Внутренний или рабочий слой изнашивается во время работы и его заменяют при ремонтах футеровки, его толщина

составляет в зависимости от вместимости конвертера 500-800 мм. Наилучшую стойкость имеет огнеупорная кладка из периклазоуглеродистых кирпичей (кирпичи готовят из плавленного периклаза с добавкой 10-20 % углерода). Для повышения стойкости на футеровку после выпуска металла периодически наносят шлаковый гарнисаж¹ путем раздува шлака, предварительно загущенного доломитом до содержания MgO в шлаке 10-12 %, азотом, подаваемым через кислородную фурму. Стойкость такой футеровки достигает 4500-5000 плавов (120-160 суток работы конвертера).

Конвертер имеет сферическое или сфероконическое днище, цилиндрическую часть и коническую суживающуюся горловину. В месте перехода цилиндрической части к конической горловине расположено отверстие (лётка) для выпуска стали. При выпуске производят отсечку шлака от стали. Это необходимо для успешного проведения последующих операций ковшовой металлургии, так как конвертерный шлак содержит оксид железа (источник кислорода), оксид фосфора и сульфид кальция (возможен обратный переход фосфора и серы в металл - явление рефосфорации и ресульфурации). Одним из способов отсечки шлака от металла является введение в отверстие (лётку) при появлении шлака огнеупорного конуса или шара, имеющих плотность более плотности шлака, но менее плотности металла. Шлак сливают в шлаковую чашу через горловину, наклонив конвертер в противоположную от лётки сторону.

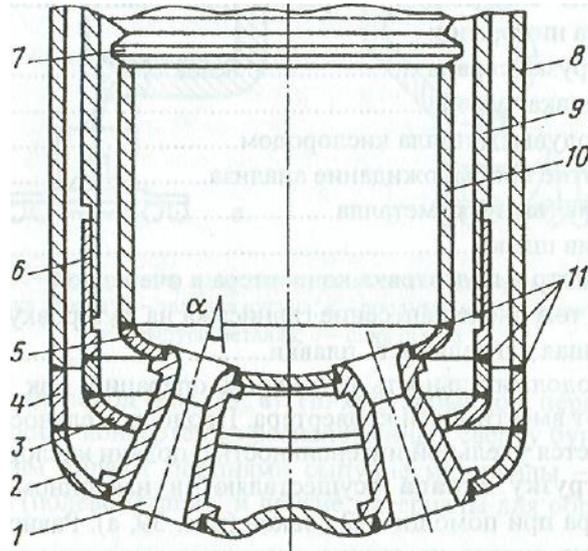
Пример Д.2 - Кислородная фурма

Кислород вдувают в металл с помощью кислородной фурмы. Фурму вводят в конвертер сверху по центру. Фурма состоит из трех концентрических (сборных) труб: по центральной подают кислород, по двум другим подводят и отводят воду для охлаждения фурмы. Применяют стальные цельнотянутые (бесшовные) трубы. Длина фурмы 300-т конвертера достигает 27 м. Высоту фурмы над металлической ванной изменяют по ходу плавки: от 4-5 м от уровня ванны в спокойном состоянии в начале продувки, до 1,8-2,4 м в середине продувки и 1,2-2,0 м в конце продувки (данные для 370-т конвертера ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»). Механизм подъема и опускания фурмы заблокирован с механизмом вращения конвертера: конвертер нельзя наклонять, пока из него не извлечена фурма.

Самая ответственная часть фурмы – ее нижняя часть – головка (см. рисунок Д.2). Она расположена вблизи реакционного кратера внедрения кислорода в металл. Головку изготавливают из красной меди, имеющей высокую теплопроводность, методом сварки из штампованных деталей или литья. В головке имеются 4-6 отверстий (сопел) для прохода кислорода. Сопла имеют специальный профиль², позволяющий газу (кислороду) истекать со сверхзвуковой скоростью.

¹ Гарнисаж – твердый защитный слой из проплавленных материалов или шлака, образующийся на рабочей поверхности стенок металлургических агрегатов

² Это так называемое сопло Лавалля, состоящее из конфузора (суживающейся части), шейки и диффузора (расширяющейся части).



1 – сопло Лавалья (медь); 2 – наружная тарелка (медь); 3 – распределитель воды; 4 – стальной патрубок; 5 – внутренняя тарелка; 6 – телескопическое соединение; 7 – компенсатор; 8, 9, 10 – стальные трубы; 11 – места сварки при смене головки

Рисунок Д.2 – Сварная головка кислородной фурмы

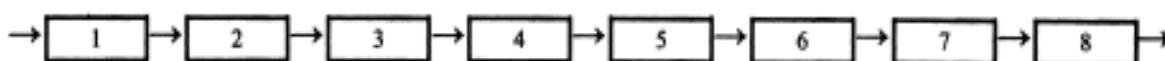
Для обеспечения нормальных гидродинамических характеристик струи кислорода необходимо иметь давление в фурме перед соплами > 1 МПа ($> 10^6$ Па), а в магистрали с учетом потерь давления в фурме 1,5-2,0 МПа и более.

Расход кислорода на 1 т стали составляет 50-55 м³. Кислород подают с удельной интенсивностью 3-5 м³/(т-мин). Продолжительность продувки 15-20 мин. Средний за плавку коэффициент усвоения кислорода металлом составляет 90-95 %.

Приложение Е

Варианты оформления схем структуры и описания технологического процесса

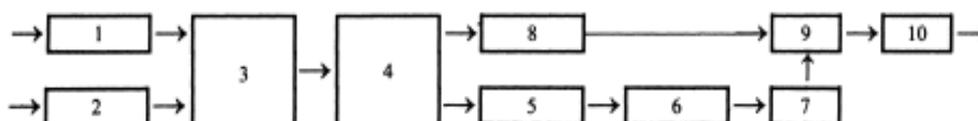
Пример Е.1 - Линейное представление технологического процесса



1 – транспортировка; 2 - извлечение сула (прессование); 3 – отстаивание;
4 – брожение; 5 – переливка; 6 – объединение в партии (ассамблирование);
7 – обработка; 8 – отстаивание (выдержка)

Рисунок Е.1 – Структура технологического процесса изготовления шампанских вин

Пример Е.2 - Сложно-линейное представление технологического процесса



1 – подготовка стеклянных шариков; 2 – приготовление замазливателя; 3 – вытягивание непрерывной стеклянной нити; 4 – размотка нити и первая крутка;
5 – трощение нити и вторая крутка для основы; 6 – приготовление основы, сновка; 7 – приготовление основы, проборка; 8 – трощение нити и вторая крутка для утка; 9 - выработка стеклоткани (ткачество); 10 – разбраковка и упаковка ткани

Рисунок Е.2 – Структура технологического процесса производства электроизоляционных стеклянных тканей

Пример Е.3 - Вариант описания технологии выплавки стали в кислородном конвертере

Классической схемой кислородно-конвертерного процесса принято считать определенную совокупность технологических операций по переработке жидкого чугуна и некоторого количества добавленного металлолома благодаря вдуванию в расплав технически-чистого кислорода, что обеспечивает удаление углерода, других примесей металлошхты и повышение температуры расплава. При этом, для проведения конвертерной плавки не требуется дополнительного (внешнего) источника тепла.

На рисунке Е.3 схематически показаны основные технологические операции плавки стали в кислородном конвертере.

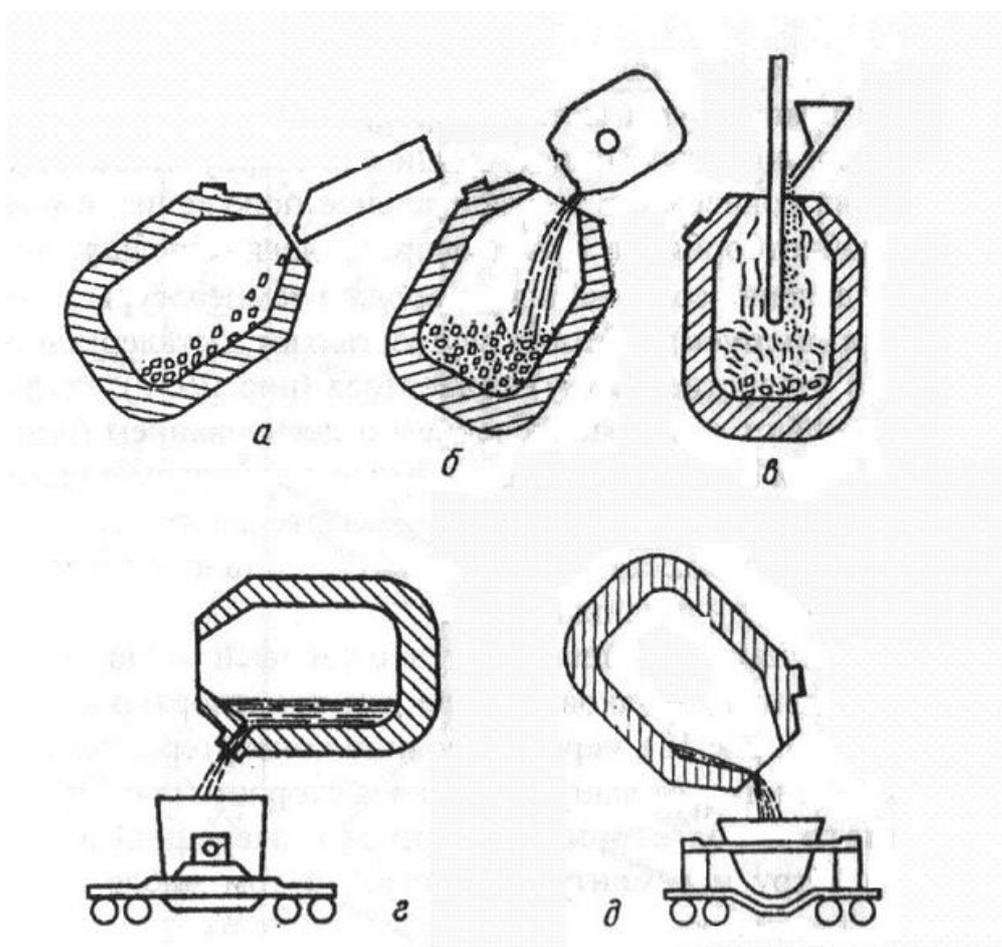


Рисунок Е.3. - Рабочее положение конвертера при выполнении разных операций:
а - загрузка металлолома; б - заливка чугуна; в - продувка и подача сыпучих;
г - выпуск металла; д - слив шлака

Технологический цикл состоит из следующих операций, продолжительность которых приведена в таблице Е.1

Таблица Е.1 - Основные операции и их длительность при кислородно-конвертерном процессе (для большегрузных конвертеров)

Наименование операции	Длительность, мин	Примечание
Загрузка металлолома и заливка жидкого чугуна	5...10	Количество металлолома в шихте 15...25 %, чугуна 75...85 % при температуре 1350...1400°C
Продувка жидкой ванны кислородом	15...20	Протекание реакций окисления кремния, углерода, железа, марганца и фосфора; добавка флюсов для формирования шлака
Отбор проб для определения химического состава стали с его корректировкой при необходимости, замер температуры	4...15	Температура стали около 1650°C
Слив стали из конвертера в разливочный ковш	4...8	Операция слива стали предполагает отсечку шлака
Слив шлака из конвертера в шлаковую чашу	1...3	Большая часть шлака сливается в шлаковую чашу, а часть остается в конвертере и используется для покрытия футеровки
Подготовка конвертера к следующей плавке	3...5	Торкретирование наиболее поврежденных участков футеровки и раздувка шлака

Продолжительность отдельных операций, как правило, не зависит от вместимости конвертера. Продолжительность продувки определяется удельной интенсивностью подачи кислорода.

Как правило, при кислородно-конвертерной плавке содержание углерода уменьшают от уровня, примерно, в 4 % почти до 0,10 % и ниже, повышая при этом температуру расплава до 1635...1700 °С.

Загрузку металлолома осуществляют в наклонном положении конвертера при помощи 1-2 совков (см. рисунок Е.3, а). Равномерное распределение металлолома на днище достигают наклоном конвертера в противоположную от загрузки сторону.

Заливку чугуна в требуемом количестве, известного химического состава и температуры осуществляют в один прием при помощи заливочных ковшей (см. рисунок Е.3, б). Перед заливкой из ковша скачивают шлак, чтобы уменьшить поступление серы в процесс.

Продувка является основной технологической операцией конвертерного процесса.

Для этого конвертер устанавливают в вертикальное положение, опускают фурму на необходимую высоту от уровня жидкой ванны и подают кислород (см. рисунок Е.3, в). По ходу, обычно в первой половине продувки, в конвертер из расположенных сверху бункеров по трубам-течкам подают порциями сыпучие материалы - известь, MgO-содержащий флюс и другие материалы для образования шлака и регулирования температуры расплава.

В наконечнике фурмы предусмотрены специальные отверстия (сопла), через которые кислород вдувается в расплав со сверхзвуковой скоростью, создавая тем самым благоприятные условия для интенсивного перемешивания металла с вводимыми флюсами и максимально ускоряя протекание химических реакций окисления и рафинирования вследствие эмульгирования металла со шлаком. В результате окисления образуются оксиды CO, CO₂, SiO₂, P₂O₅, MnO и оксиды железа. Газообразные оксиды всплывают в жидкой ванне, способствуя ее вспениванию, а затем поднимаются к горловине конвертера. Остальные оксиды перемешиваются с флюсом, состоящим, в основном, из обожженной извести, способствуя образованию жидкого шлака, который обеспечивает рафинирование расплава от вредных примесей.

Во второй половине продувки, при бурном окислении углерода, шлако-металлическая эмульсия может заполнить весь объем конвертера. Задача оператора, управляющего плавкой, - не допустить взрывоопасного течения реакции окисления углерода и выброса эмульсии из конвертера. Это достигается уменьшением расхода кислорода или подъемом фурмы.

Момент окончания продувки при ручном управлении определяют по количеству израсходованного кислорода, а при автоматических системах управления - по результатам прямого или косвенного измерения содержания углерода и температуры металла в сочетании с количеством израсходованного кислорода с обработкой этих данных на ЭВМ.

Отбор пробы металла и шлака на химический анализ, а также измерение температуры металла производят в конце продувки с помощью специальных зондов, вводимых сверху через горловину, или, повалив конвертер в горизонтальное положение, с помощью разных пробоотборников и термопар.

Слив (выпуск) металла осуществляют в сталеразливочный ковш через отверстие (лётку) конвертера (см. рисунок К.4, г). Выпуск металла совмещают с его раскислением и легированием. Ковш с металлом поступает на стенд ковшовой металлургии для окончательного доведения до требуемых значений состава и температуры стали и далее на установку непрерывной разливки стали.

Слив шлака осуществляют в шлаковую чашу, через горловину конвертера, повернув его в противоположную от выпуска металла сторону (см. рисунок К.4, д).

Осмотр и подготовка конвертера к очередной плавке сводятся к осмотру и ремонту футеровки, в том числе нанесению шлакового гарнисажа.

Приложение Ж

Вариант описания технологического процесса как объекта управления (на примере конвертерной плавки стали)

.....¹

Приведенное выше общее описание кислородно-конвертерного процесса дает возможность систематизировать его параметры в соответствии со схемой (см. Рисунок 1).

Составляющими векторной переменной $w(t)$ конвертерной плавки будем считать характеристики поступающих в конвертер материальных и энергетических потоков, которые влияют на выходные переменные и не зависят от происходящих в конвертере процессов:

Чугун, скрап, известь:

- ✓ масса жидкого чугуна, скрапа, сыпучих материалов (извести) и др. возможных шихтовых материалов;
- ✓ химический состав чугуна (массовая доля в чугуне, % C, Si, Mn, P, S);
- ✓ температура жидкого чугуна (°C);

Кислород:

- ✓ количество (тыс. м³)
- ✓ объёмный расход, (м³/мин);
- ✓ давление, (Мпа);
- ✓ чистота (%).

Составляющими векторной переменной $v(t)$ конвертерной плавки будем считать следующие параметры:

Сталь и шлак:

- ✓ масса стали (т);
- ✓ масса шлака (т);
- ✓ температура стали (°C);
- ✓ химический состав стали (%);
- ✓ массовая доля газов и включений в стали (%);
- ✓ химический состав шлака (%);

Газ и пыль:

- ✓ объёмный выход газов (м³/мин);
- ✓ вынос пыли (г/(м³));
- ✓ температура отходящих конвертерных газов (°C);
- ✓ объёмная доля в отходящих газах (%): CO, CO₂, O₂, H₂, Ar, N₂.

Составляющими векторной переменной $z(t)$ конвертерной плавки будем считать следующие параметры:

¹ Предполагается, что общее описание кислородно-конвертерного процесса приведено в предыдущих разделах курсовой работы

- ✓ положение конвертера (м);
- ✓ время продувки, (мин);
- ✓ положение кислородной фурмы относительно металла (м);
- ✓ окисленность металла (%);
- ✓ температура металла в ванне (°С);
- ✓ уровень спокойной ванны (м);
- ✓ массовая доля углерода в металле (%);
- ✓ температура воды после охлаждения фурмы (°С);
- ✓ объемный расход воды на охлаждение (м³/мин);
- ✓ давление воды на охлаждение (МПа);
- ✓ излучение факела конвертера (°С);
- ✓ уровень шума конвертера (Дб);
- ✓ износ футеровки конвертера (мм).

К управляющим воздействиям конвертерного процесса относятся:

- ✓ масса чугуна, г;
- ✓ масса стального лома, т;
- ✓ масса извести в каждой порции, т;
- ✓ масса известняка в каждой порции, т;
- ✓ масса плавикового шпата в каждой порции, т;
- ✓ масса боксита в каждой порции,
- ✓ момент ввода в конвертер добавки сыпучих материалов;
- ✓ расход кислорода, м³/мин;
- ✓ расстояние между кислородной фурмой и уровнем ванны, мм;
- ✓ длительность продувки, мин.

Контролируемыми возмущающими воздействиями являются:

- ✓ содержание кремния в чугуне, %;
- ✓ содержание марганца в чугуне, %;
- ✓ содержание серы в чугуне, %;
- ✓ температура чугуна, °С;
- ✓ содержание кислорода в дутье, %;
- ✓ интервал времени между выпуском предыдущей плавки и началом загрузки следующей, мин.

К неконтролируемым возмущающим воздействиям можно отнести:

- ✓ содержание углерода и фосфора в чугуне, %;
- ✓ химический и гранулометрический состав сыпучих материалов;
- ✓ химический состав, температуру и размер кусков стального лома;
- ✓ массу и состав попадающего в конвертер миксерного шлака и т. д.

Следует подчеркнуть, что приведенная классификация параметров конвертерного процесса характерна для конкретных условий и не может рассматриваться как универсальная. В других условиях, когда, например, анализ чугуна на фосфор делается, а анализ кислорода не делается, эти параметры окажутся в других группах классификации.

Естественно, что по мере развития измерительной техники некоторые возмущающие воздействия будут переходить из разряда неконтролируемых в разряд контролируемых. Так в ряде кислородно-конвертерных цехов содержание кислорода в дутье не измеряется и поэтому является помехой. В других цехах установлены автоматические газоанализаторы на кислород, что делает обсуждаемый параметр контролируемым возмущением.

Задачи управления конвертерной плавкой

Главная задача управления конвертерной плавкой - получение заданного состава стали по углероду, что в основном сводится к определению времени прекращения продувки. Эта задача весьма сложна, если учесть, что обычно нет прямой информации о содержании углерода в ванне по ходу продувки, а скорость выгорания углерода настолько велика, что одна минута продувки соответствует переходу к стали другой марки. Управление усложняется и тем, что скорость выгорания углерода существенно меняется по ходу продувки.

Другая задача управления заключается в получении к моменту достижения заданного содержания углерода нужной температуры стали. Обеспечивается это правильным расчетом количества охладителей и частично за счет присадок руды, лома и известняка по ходу продувки, а также в результате изменения высоты расположения кислородных фурм.

Требуемая степень дефосфорации и десульфурации обеспечивается путем получения шлака нужной основности и в нужном количестве.

Одной из вспомогательных задач управления можно назвать обеспечение безопасных условий продувки ванны кислородом. Это решается автоматическим прекращением продувки и извлечением фурмы из конвертера при отклонении некоторых параметров от допустимого значения.

В современных крупных конвертерах, как правило, применяется система удаления конвертерных газов без дожигания CO. При этом очищенные газы с содержанием большого количества CO могут использоваться как топливо. Наличие газоотводящего тракта, заполненного CO, обуславливает дополнительные требования к управлению, связанные с необходимостью обеспечения безопасной работы газоотводящего тракта, и в первую очередь к правильному управлению давлением в тракте.

Общей задачей управления конвертерной плавкой может быть достижение экстремума некоторого критерия оптимальности. В качестве такого критерия могут быть выбраны различные технические или технико-экономические показатели и их комбинации. Например, максимальная производительность или максимальный выход жидкой стали (отношение массы полученной стали к сумме масс чугуна и лома), максимальная стойкость футеровки. В общем случае критерием оптимальности наиболее целесообразно считать максимальную экономичность процесса, но более точный выбор критерия оптимальности может быть произведен только в условиях конкретного конвертерного цеха. При управлении по любому критерию оптимальности, безусловно, сохраняется основное требование - получение стали заданного качества, т.е. с

определенным содержанием углерода, определенной температуры и с содержанием вредных примесей, не превышающим допустимых значений.

В мире имеется множество компьютерных автоматизированных систем управления (АСУ) конвертерной плавкой.

Основной задачей компьютерного управления является расчет расхода шихтовых материалов и кислорода, выработка управляющих воздействий для регулирования хода продувки и, что особенно важно, точное определение момента окончания продувки при заданном содержании углерода в металле. Это сокращает продолжительность плавки, увеличивает производительность цеха и снижает потери металла со шлаком в виде оксидов железа. Часто в цепи АСУ плавкой используют отбор пробы металла для определения состава и измерение его температуры без повалки конвертера путем введения в объем металла специального пробоотборника (зонда) в начале второй половины продувки. Знание состава и температуры металла позволяет точно рассчитать момент окончания продувки.

Оперативный контроль по ходу кислородно-конвертерной плавки представляется весьма важным элементом, обеспечивающим контроль химического состава металла и его температуры, а также веса плавки, металлолома, железной руды (или окалины), обожженной извести и доломита. Такая стратегия, в конечном счете, минимизирует количество додувок и добавок охладителя. Используемые системы автоматического контроля и управления процессом конвертерной плавки базируются на статических и динамических моделях. В первом случае применяются компьютерные аналоги с накопленным в данных производственных условиях статистическим материалом. Однако такие модели требуют достаточно точной информации о химическом составе, весе и температуре заливаемого металла и заваливаемого металлолома, а также о химическом составе и размерах кусков извести, доломита и прочих флюсов. На практике это не всегда возможно обеспечить, так что точность таких моделей, как правило, не удовлетворяет производителей. Поэтому прямым развитием процесса моделирования стало введение в них вспомогательных параметров, контролируемых по ходу плавки. Например, для корректировки статической модели может быть использована информация о химическом составе отходящих газов, температура металла и активность кислорода, определяемая по ходу плавки.

Приложение К

Варианты описания метрологического обеспечения ТОО

Пример К.1 - Схема видов измерений метрологического обеспечения ТОО

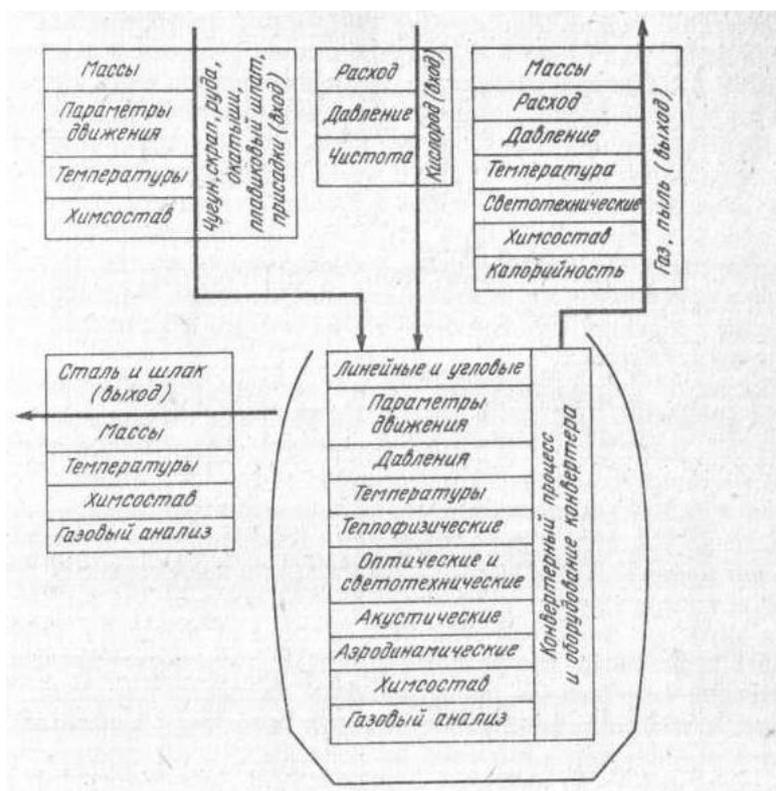


Рисунок Ж.1 – Схема видов измерений метрологического обеспечения конвертерного процесса

При выплавке стали в кислородных конвертерах необходимо выполнять измерения характеристик входных параметров (чугуна, скрапа, руды, окатышей, плавикового шпата, извести, присадок, кислорода), выходных (стали, шлака, газа, пыли) и параметров самого конвертерного процесса и оборудования агрегата (см. рисунок Ж.1).

Контроль входных параметров включает измерения массы, параметров движения, температуры, химического состава, расхода, давления и чистоты кислорода. Для контроля выходных параметров необходимы измерения масс, температуры, химического состава, газового анализа, расхода, давления, светотехнические, калорийности. Контроль параметров конвертерного процесса и оборудования агрегата включает измерения линейные и угловые, параметров движения, давления, температуры, теплофизические,

Технологический параметр	Диапазон измерений	Технологически допустимый предел погрешности измерений	Технологически допустимый предел производственного запаздывания информации, с	Влияние качества информации на эффективность технологии
<i>Входные параметры</i>				
1 Масса жидкого чугуна, т	0 – 500	±0,2 %,	60	Точность шихтовки плавки. Изменение технологических приемов и управления плавкой. Оптимизация продувки
2 Масса металлолома, т	0 - 150	±0,2	60	
...	
7 Температура жидкого чугуна, °С	1200 - 1450	±10 °С	30	Точность шихтовки плавки. Изменение технологических приемов и управления плавкой. Оптимизация продувки
...	
14 Объемный расход кислорода,, м ³ /мин	0 - 2000	±0,5 %	2	Контроль окончания продувки, повышение качества металла
...	
<i>Выходные параметры</i>				
...
22 Температура стали, °С	1400 - 1800	±5 °С	2	Повышение качества металла
23 Химический состав стали, %	-	ГОСТ	240	
...
<i>Параметры конвертерного процесса и оборудования агрегата</i>				
...

Технологический параметр	Диапазон измерений	Технологически допустимый предел погрешности измерений	Технологически допустимый предел производственного запаздывания информации, с	Влияние качества информации на эффективность технологии
39 Температура металла в ванне, °С	1300 - 1800	±5 °С	2	Ход процесса продувки
Положение кислородной фурмы относительно металла, м	0 - 10	± 0,02 %	2	Оптимизация режима продувки
...

Пример К.4 - Карта метрологического обеспечения

Таблица Ж.4 - Карта метрологического обеспечения процесса выплавки стали в кислородно-конвертерном цехе

№ п/п	Измеряемый параметр	Наименование СИ	Диапазон измерения СИ	Погрешность СИ
1	Масса жидкого чугуна	Весы ж/д 1029П400	(20 - 400) т	от 20 до 50 т: ±100 кг от 50 до 200 т: ± 200 кг от 200 до 400 т: ± 300 кг
2	Масса металлолома	Весы 1035 П250	(18 - 250) т	от 18 до 25 т: ±50кг от 25 до 100 т: ± 100 кг от 100 до 250 т: ± 150 кг
3-5	Масса сыпучих материалов	Весы 767 с 250 КТС-3 и SIWAREX, контроллер S135U (4шт.)	(0,2 - 5) т	от 0,2 до 5 т: ±10кг
6	Масса ферросплавов	Весы ADAM 3016A(4шт.)	(0,2 - 2) т	от 0,2 до 2 т: ±10кг
7	Температура жидкого чугуна	Термопара ПТПР – 91, прибор «Digitemp»	(1000 - 1800)°С	0,5%

№ п/п	Измеряемый параметр	Наименование СИ	Диапазон измерения СИ	Погрешность СИ
8 - 12	Массовая доля (%) химических элементов в чугунах: С, Si, Mn, S, P,	Оптический квантометр «GVM-1014»	(0,005 - 5) %	Погрешность соответствует требованиям НД на метод
14	Объемный расход кислорода на плавку	Датчик Sitrans, контроллер Simatic	(0 - 500) м ³ /мин	0,5%
15	Давление кислорода перед фурмами	Датчик Sitrans, контроллер Simatic	(0 — 25) кгс/см ²	0,5%
18	Объем расхода азота на продувку	Датчик Sitrans, контроллер Simatic	(0 — 500) м ³ /мин	0,5%
20	Масса стали при разливке	Крановые весы	(2 — 500) т	от 2 до 50 т : ±100кг от 50 до 200 т: ± 200кг от 200 до 460 т: ± 300кг
23	Массовая доля (%) химических элементов стали: С, Mn, S, P, Cr, Ni, Cu, Al _{общ} , N, Sn	Оптический квантометр «Поливак Е 973» Оптический квантометр PDA – 5017G Оптический квантометр ARL 4460	(0,001 — 2,5) % (0,005 — 5) % (0,0001 — 5,0) %	Погрешность соответствует требованиям НД на метод
22	Температура стали	Термопара ПТПР – 91, прибор «Digitemp»	(1000 — 1800) ⁰ С	0,5%
25	Содержания окислов (%) в шлаке: SiO ₂ , CaO, FeO, MnO, Al ₂ O ₃ , MgO, Fe _{общ} , P ₂ O ₅ , S, TiO ₂ , V ₂ O ₅	Многоканальный рентгеновский спектрометр СРМ-25, MXF-2400	(0 — 65) %	Погрешность соответствует требованиям НД на метод
28	Температура отходящих газов,	Термопара ТХА, контроллер Simatic	(0 — 1300) ⁰ С	0,5%
29 - 34	Объемная доля в отходящих газах (%): Н ₂ , СО, СО ₂ , О ₂ , N ₂ , Ar	Газоаналитическая система «Гранат»	(0 — 100) % Н ₂ — (0 — 10)%	2%
39	Температура металла в ванне,	Термопара ПТПР – 91, прибор «Digitemp»	(1000 — 1800) ⁰ С	0,5%

№ п/п	Измеряемый параметр	Наименование СИ	Диапазон измерения СИ	Погрешность СИ
42	Температура воды после фурм,	Термометр ТСМ, контроллер Simatic	(0 — 100) ⁰ С	0,5%
43	Объемный расход воды по фурмам	Датчик Sitrans, контроллер Simatic	(0 — 160)м ³ /час	0,5%
44	Давление воды по фурмам	Датчик Sitrans, контроллер Simatic	(0 — 16) кгс/см ²	0,5%
37	Положение фурмы	Датчик абсолютного положения	(0 — 4) м	индикатор
35	Положение конвертера	Датчик абсолютного положения	(0 — 180) °С	индикатор