

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Машины и технология  
литейного производства»

**Л. Е. Ровин**

## **ПЕЧИ ЛИТЕЙНЫХ ЦЕХОВ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**к курсовым работам**

**для студентов специальности 1-36 02 01**

**«Машины и технология литейного производства»**

**дневной формы обучения**

**Гомель 2010**

УДК 621.745.3(075.8)  
ББК 34.61-5я73  
Р58

*Рекомендовано научно-методическим советом  
механико-технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 3 от 23.06.2009 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Обработка материалов давлением»  
*Ю. Л. Бобарикин*

**Ровин, Л. Е.**  
Р58 Печи литейных цехов : метод. указания к курсовым работам для студентов специальности 1-36 02 01 «Машины и технология литейного производства» днев. формы обучения / Л. Е. Ровин. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2010. – 57 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

Содержат рекомендации по структуре, оформлению курсовых работ и примеры проектных расчетов.

Для студентов специальности 1-36 02 01 «Машины и технология литейного производства» дневной формы обучения.

**УДК 621.745.3(075.8)  
ББК 34.61-5я73**

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2010

## Содержание

|   | стр. |
|---|------|
| 1. Цель и задачи курсового проектирования.....                                | 4    |
| 2. Тематика курсовых работ.....   | 5    |
| 3. Задание на курсовую работу.....  | 5    |
| 4. Состав, содержание и объем курсовой работы.....                            | 6    |
| 5. Оформление курсовой работы.....  | 10   |
| 6. Защита курсовой работы.....  | 29   |
| Литература .....  | 31   |
| Приложение1–Образец титульного листа расчетно-<br>пояснительной записки ..... | 32   |
| Приложение2–Примерный перечень тем курсовых<br>работ .....                    | 33   |
| Приложение3–Пример заполнения угловых<br>штампов.....                         | 35   |
| Приложение4–Расчет горения топлива .....                                      | 36   |
| Приложение5–Материальный баланс вагранки .....                                | 43   |

## 1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Курсовое проектирование является этапом изучения специальных дисциплин и имеет целью:

- систематизацию, углубление, закрепление и расширение теоретических знаний и знаний, связанных с профессиональной подготовкой;

- применение знаний, связанных с профессиональной подготовкой, к самостоятельному и творческому решению конкретных инженерных задач по технико-экономическому обоснованию выбора типа печи, литейных печей и сушил, расчету материального и теплового балансов печей, расчету основных параметров конструкции, устройств теплогенерации, защиты окружающей среды и рекуперации тепла, аэродинамических параметров установок.

Основная задача курсового проектирования – приобретение студентами навыков:

- самостоятельной творческой работы при сборе и изучении исходных материалов для проектирования во время производственной практики, в работе с литературой (монографии, периодические издания, материалы конференций и совещаний, опытно – конструкторские разработки, отчеты по НИР, реферативная и переводная литература и т. д.), при анализе технико – экономических показателей отечественных и зарубежных промышленных печей с учетом научно – технического прогресса в области литейного производства;

- умения пользоваться справочной литературой, нормативными и другими проектными материалами, включая ГОСТы и размерные ряды параметров печей;

- умения разрабатывать новые прогрессивные и эффективные проектные решения или применять совокупность известных ранее рациональных решений;

- выполнения инженерных расчетов с использованием ЭВМ;

- графического выполнения проектных решений с использованием ЭВМ;

- умения анализировать, обобщать и защищать разработанные проектные решения.

В ходе курсового проектирования студент должен использовать

знания, приобретенные при изучении фундаментальных и  
общеинженерных дисциплин:  
“Металлургическая теплотехника”, “Печи литейных цехов”,  
“Плавка”, “Компьютерное моделирование технологических  
процессов”, “Высшая математика” и др.

## 2 ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ РАБОТ

Тематика курсовых работ отвечает учебным задачам специальных дисциплин, связана с практическими задачами современного литейного производства. Курсовая работа должна выполняться преимущественно по реальной, в том числе научно – исследовательской тематике.

## 3 ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

Задание на выполнение курсовой работы предусматривает комплексное решение поставленных инженерных задач, готовит и выдает студентам ведущий преподаватель. Задание предусматривает: разработку проектных решений технического характера, определение рациональных электротехнических, теплотехнических, аэродинамических и конструктивных параметров путем анализа теплообмена в рабочем пространстве, составление материального и теплового балансов, анализ рабочих характеристик и т.п.; разработку проектных решений по созданию условий безопасности эксплуатации и мероприятий по охране окружающей среды, внедрению безотходной или малоотходной технологии; разработку проектных решений экономического характера в виде оценки показателей качества выплавляемых сплавов, нагрева отливок, сушки материалов и т.п., потребляемых материалов и энергоносителей, расчета производительности удельного расхода энергии на основе использования достижений научно – технического прогресса в области металлургии черных и цветных металлов для интенсификации работы печей; проведение конструктивных и технологических расчетов: выполнение расчетных и графических работ с указанием количества, содержания и формата чертежей (например, общий вид и необходимые разрезы, конструкция узлов и механизмов, графики, эпюры) и т.п. с использованием ПЭВМ.

Часть перечисленных вопросов может быть опущена, если она

не вытекает из содержания курсовой работы, а степень их детализации должна соответствовать тематике проекта и количеству времени, выделенному на основании учебного плана его выполнения.

Исходные данные для проектирования должны основываться на производственных показателях современных печей и справочном материале. В исходных данных указывают рекомендуемую литературу, учебные и методические пособия, материалы проектных разработок. Необходимо предусматривать возможность использования в качестве источника информации “Интернет”-а. В задании указывают перечень обязательных расчетов и чертежей с использованием ЭВМ.

Сроки начала и окончания курсового проектирования, в том числе сроки выполнения отдельных этапов проектирования указывают для контроля и организации самостоятельной работы студента во время курсового проектирования.

Каждое задание на курсовую работу должно содержать элементы новизны, обеспечивающие творческий характер работы над проектом и соответствующие активной самостоятельной работе по углублению теоретических знаний и практических навыков по специальности.

#### 4 СОСТАВ, СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЕМ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа по спецкурсу состоит из расчетно – пояснительной записки и графической части.

В содержание расчетно – пояснительной записки входят расчеты по проектным решениям технического, экологического и экономического характера.

Пояснительная записка курсовой работы должна иметь следующие разделы, отражающие вместе с графической частью весь комплекс разработанных решений в соответствии с заданием:

1. Титульный лист.
2. Задание на выполнение курсовой работы.
3. Введение.
4. Общая часть: описание и обзор действующих аналогов печи (установки).
5. Проектные решения технического характера;

6. Результаты расчетов с использованием ЭВМ: материальный и тепловой балансы, расчеты геометрических параметров и т. д.

7. Проектные решения социального характера: (по охране труда и окружающей среды);

8. Проектные решения экономического характера, решения по автоматическому управлению работы печей;

9. Выводы;

10. Список использованных проектных материалов и литературы;

11. Приложения: спецификация чертежей графической части курсовой работы, графики, таблицы и др. иллюстрированные материалы.

Содержание разделов курсовой работы:

4.1. Титульный лист

Форма титульного листа приведена в Приложении 1.

4.2. Задание на выполнение курсовой работы

В Приложении 2 приведена форма бланка задания на выполнение курсовой работы. Задание выдается преподавателем – руководителем и утверждается зав. кафедрой. Студент расписывается на бланке о получении задания

4.3. Введение

Во введении формулируют цели курсовой работы на основе перспективных и актуальных технологических решений, обоснование целесообразности задания, реконструкции или модернизации объекта курсового проектирования.

4.4. Содержание общей части расчетно – пояснительной записки

4.4.1. Проектные решения технического характера

В этом разделе записки содержатся описание и расчеты, на основе которых приняты проектные решения технического характера.

Проектные решения могут включать:

- расчет материального и теплового баланса технологического процесса плавки или внепечной обработки, сушки теплового баланса нагревательных печей и установок, аэродинамический расчет печей и установок утилизации тепла;

- расчет основных конструктивных параметров проектируемой печи;

- определение мощности проектируемой печи на основе составления энергетического баланса;

- определение параметров электрического режима проектируемой электропечи;
- выбор и описание системы управления и комплекса вспомогательного оборудования и механизмов по обслуживанию проектируемой печи, необходимого для обеспечения ожидаемых технико – экономических показателей.

Обоснование предлагаемых проектных решений технического характера должно быть представлено в виде сравнительных характеристик с другими возможными вариантами (по возможности на основе оптимизационных расчетов с применением ЭВМ) и указанием их преимуществ по одному или нескольким основным показателям:

- а) повышение эффективности технологического процесса;
- б) повышение качества продукции;
- в) устранение лимитирующих факторов технологического процесса (ликвидация “узких” мест в производственном процессе);
- г) экономия материальных и энергетических ресурсов;
- д) улучшение экологических характеристик.

В ряде случаев содержанием этого раздела записки может быть углубленная проработка единственного варианта проектного решения, в частности, на базе новых агрегатов, разрабатываемых кафедрой в рамках НИР и ОКР.

В случае выполнения расчетов с использованием стандартных и специализированных программ ЭВМ в тексте данного раздела расчетно – пояснительной записки приводятся сведения о методике использования ЭВМ, блок – схемы и алгоритмы решаемых задач и обсуждение результатов расчета.

Если в курсовой работе применена программа ЭВМ, составленная самим студентом, то в данном разделе пояснительной записки должен содержаться также листинг программы с подробными пояснениями и комментариями, необходимыми для последующего использования этой программы в учебном процессе.

#### 4.4.2. Решения организационного характера.

В этом разделе расчетно – пояснительной записки отражаются вопросы, связанные с обслуживанием и применением агрегата или установки в производственном цикле:

- режим работы проектируемой печи (установки);

- длительность рабочего цикла;
- производительность цикловая (часовая) и действительная (расчетная)

#### 4.4.3. Проектные решения социального характера.

Этот раздел должен содержать комплекс инженерных проектных решений, направленных на создание наиболее благоприятных условий труда, безопасной эксплуатации, защиты окружающей среды, с учетом требований экологии и техники безопасности.

#### 4.4.4. Проектные решения экономического характера.

В этом разделе Пояснительной записки отражаются вопросы, включающие:

- определение расходных коэффициентов меяллошихты, различных энергоносителей, в том числе топлива и технологической электроэнергии;
- ориентировочную оценку стоимости создания новой или реконструкции действующей печи (установки)
- ориентировочную оценку экономического эффекта от использования проектируемого оборудования.

#### 4.4.5. Графическая часть курсовой работы.

Графическая часть курсовой работы включает в себя два – три чертежа:

1-общий вид и необходимые разрезы печи (установки) – формат А1

2-общий вид и необходимые разрезы узла, механизма или элемента конструкции спроектированной или реконструируемой печи (установки) - формат А1

3-схемы (электрические, гидравлические, пневматические или комбинированные), эпюры, графики или таблицы с результатами исследований, выполненные при курсовом проектировании – формат А1 – А2.

Чертежи должны быть выполнены в соответствии с ГОСТ ЕСКД.

Все чертежи общих видов (сборочных единиц) и деталей должны иметь необходимое число проекций. Спецификацию как текстовый конструкторский документ, определяющий состав сборочной единицы (комплекса или комплекта), выполняют на отдельных листах формата А4 по форме 1 для первого или заглавного листа и по форме 1а – для последующих листов и прилагают к расчетно – пояснительной записке курсовой работы (приложение). Для заглавного листа спецификации основную надпись выполняют по форме 2, а для последующих листов - по форме 2а, при этом обозначение (код) документа соответствует чертежу общего вида (сборочной единицы).

Чертежи выполняют в карандаше или методом компьютерной графики (Программа AutoCAD).

Каждый чертеж должен быть подписан исполнителем и руководителем (консультантом) курсовой работы.

## 5 ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

5.1. Оформление расчетно – пояснительной записки к курсовой работе

Расчетно – пояснительная записка должна в краткой и четкой форме раскрывать творческий замысел курсовой работы, содержать обоснование проектных решений, принятые методы расчета и сами расчеты, программы для расчетов, выполненных с использованием ЭВМ, могут быть вынесены в Приложение), анализ результатов расчетов и сравнение различных вариантов проектных решений. Пояснительная записка должна сопровождаться необходимыми иллюстрациями, эскизами, диаграммами, таблицами, схемами, ссылками на справочную литературу и другие источники информации.

Материал расчетно – пояснительной записки располагают согласно логическому изложению вопросов курсового проекта в соответствии с составом курсового проекта.

Текст пишут в безличной форме. При его написании следует соблюдать основные требования:

- четкость и логическую последовательность изложения;
- убедительность аргументации;
- краткость и точность формулировок, исключающих возможность неоднозначного толкования;

- конкретность изложения результатов работы;
- использование только общепринятой терминологии, регламентированной государственными стандартами.

#### 5.1.1. Общие требования

5.1.1.1. Текст может быть написан черной или синей пастой (чернилами) или выполнен машинописным способом, а также с применением печатающих и графических устройств вывода ЭВМ, на одной стороне листа белой бумаги формата А4 через полтора межстрочных интервалов (8 мм). Для текстов, выполненных на печатающих и графических устройствах вывода ЭВМ, высота букв и цифр должна быть не менее 1.8 мм.

5.1.1.2. Текст следует писать (печатать), соблюдая следующие размеры полей: левое – не менее 10 мм, правое – не менее 10 мм, верхнее – не менее 15 мм, нижнее – не менее 20 мм.

Плотность текста должна быть одинаковой, за исключением материалов, вынесенных в приложение.

5.1.1.3. Схемы, рисунки и графики функциональных зависимостей, диаграммы выполняют черной пастой (тушью) или карандашом на стандартных листах белой бумаги. При необходимости выполнения таких рисунков на бумаге с нанесенной координатной сеткой, они должны быть помещены в Приложении к работе.

Допускается применять в качестве иллюстраций фотографии и ксерокопии (в приложении).

#### 5.1.1.4. В тексте НЕ ДОПУСКАЕТСЯ:

- применять для одного и того же понятия различные научно – технические термины, а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных в русском языке;
- применять сокращения слов и словосочетаний, кроме установленных правилами орфографии и пунктуации;
- употреблять математические знаки без цифр, например, « $\leq$ » (не более), « $\geq$ » (не менее), « $=$ » (равно), « $\neq$ » (не равно), а также знаки № (номер) и % (процент);

5.1.1.5. Фамилии, названия учреждений, организаций, фирм, названия изделий и другие собственные имена приводят в тексте на языке оригинала. Допускается транслитерировать собственные имена и приводить названия организаций в переводе на русский язык с добавлением (при первом упоминании) оригинального названия.

5.1.1.6. При необходимости использования в тексте слова, образованного сокращением словосочетания и читаемого по алфавитному названию начальных букв (аббревиатуры), следует сначала привести полное словосочетание, а рядом в круглых скобках поместить аббревиатуру и далее приводить только её.

5.1.1.7. Схемы алгоритмов и программ (блок-схемы) для ЭВМ оформляют в соответствии с ИСО 5807-85.

5.1.1.8. Текст основной части делят на РАЗДЕЛЫ, ПОДРАЗДЕЛЫ, и ПУНКТЫ.

5.1.1.9. Заголовки РАЗДЕЛОВ пишут (печатают) симметрично тексту ПРОПИСНЫМИ БУКВАМИ.

Заголовки ПОДРАЗДЕЛОВ и ПУНКТОВ пишут с абзаца (15-17 мм или пять ударов пишущей машинки) СТРОЧНЫМИ буквами (кроме первой прописной). Продолжение заголовка начинается с абзаца\*. Точку в конце заголовков не ставят; если заголовок состоит из двух предложений, то их разделяют точкой. Подчёркивание заголовков не допускается. Расстояние между самими заголовками и заголовком и текстом должно быть в два раза больше, чем между строчками текста.

5.1.1.10. Каждый РАЗДЕЛ следует НАЧИНАТЬ с НОВОГО ЛИСТА.

## 5.1.2. Нумерация.

5.1.2.1. Страницы нумеруют арабскими цифрами. Титульный лист включают в общую нумерацию. На титульном листе номер не ставят, номер проставляют в правом верхнем углу.

5.1.2.2. РАЗДЕЛЫ должны иметь порядковую нумерацию в пределах основной части работы и обозначаться арабскими цифрами с точкой в конце, например, «I.» (первый раздел).

Такие разделы работы, как ВВЕДЕНИЕ, ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ), СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ и ПРИЛОЖЕНИЕ НЕ НУМЕРУЕТСЯ (т.е. номера им не присваиваются).

5.1.2.3. ПОДРАЗДЕЛЫ нумеруют арабскими цифрами в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделённых точкой с точкой в конце, например, «2.3.» (третий подраздел второго раздела).

5.1.2.4. ПУНКТЫ нумеруют арабскими цифрами в пределах каждого подраздела. Номер пункта состоит из номеров раздела,

подраздела и пункта, разделённых точками с точкой в конце, например, «1.2.3.» (третий пункт второго подраздела первого раздела).

5.1.2.5. Иллюстрации, таблицы и распечатки с ЭВМ должны соответствовать формату А4 и включаться в общую нумерацию страниц. Иллюстрацию, таблицу и распечатку с ЭВМ формата А3 учитывают как одну страницу.

### 5.1.3. Иллюстрации

5.1.3.1 Количество иллюстраций, помещённых в тексте определяется её содержанием и должно быть достаточным для того, чтобы придать излагаемому тексту ясность и конкретность. Все иллюстрации независимо от содержания, обозначаются словом «рис.» и нумеруются.

5.1.3.2. В качестве иллюстраций следует применять схемы, графики функциональных зависимостей, диаграммы, фотографии. Допускается применение ксерокопий.

5.1.3.3. Иллюстрации должны быть расположены так, чтобы их было удобно рассматривать без поворота или с поворотом текста по часовой стрелке. Иллюстрации располагают после первой ссылки на них непосредственно в тексте или на отдельной странице, следующей за той, на которой сделано первое обращение.

5.1.3.4. Каждая иллюстрация должна иметь название следующее за обозначением «рис ». При необходимости иллюстрации снабжают поясняющими данными (пояснительным текстом). Название иллюстрации и пояснительный текст размещают под ней. Переносы внутри слов не допускаются.

5.1.3.5. Все иллюстрации нумеруют последовательно в ПРЕДЕЛАХ ВСЕГО ТЕКСТА РАБОТЫ арабскими цифрами например, «рис. 5». При ссылке на иллюстрацию следует указать её номер, например «рис.2»

### 5.1.4. Таблицы

5.1.4.1. Цифровой материал предоставляют в виде таблицы, оформляют по установленной форме

Таблица № 5.1 - Заголовок таблицы

|                                     |  |  |  |  |                   |
|-------------------------------------|--|--|--|--|-------------------|
| Головка                             |  |  |  |  | Заголовки<br>граф |
|                                     |  |  |  |  |                   |
| Строки<br>(горизонталь<br>ные ряды) |  |  |  |  |                   |
|                                     |  |  |  |  |                   |
|                                     |  |  |  |  |                   |

Боковик  
(заголовки  
строк)

Графы (колонки)

5.1.4.2. Каждая таблица должна иметь заголовок. Заголовок и слово «Таблица» начинают с прописной буквы. Заголовок не подчеркивают. Переносы внутри слов в заголовке не допускаются.

5.1.4.3. Заголовки граф таблицы должны начинаться с прописных букв, подзаголовки – со строчных, если они составляют одно предложение с заголовком, и с прописных, если они самостоятельные.

Можно сокращать расстояния между строчками в заголовках граф до одного машинного интервала (5 мм). Заголовки граф и строк следует писать горизонтально с использованием переноса внутри слов.

Делить заголовки таблиц по диагонали не допускается.

Высота строк должна быть не менее 8 мм.

Графу «№ п/п» в таблицу включать не рекомендуется. При необходимости нумерации показателей, параметров или других данных порядковые номера указывают в боковике таблицы перед их наименованием.

5.1.4.4. Таблицу размещают после первого упоминания о ней в тексте таким образом, чтобы ее можно было читать без поворота или с поворотом текста по часовой стрелке. Таблицу с большим количеством строк допускается переносить на другой лист. При этом графы таблицы о б я з а т е л ь н о нумеруют на первом листе, где начинается таблица, под её головкой помещают дополнительную строку высотой не менее 8 мм с номерами граф таблицы (нумерацию ведут арабскими цифрами). На следующей странице помещают строку с номерами граф таблицы; над ней справа пишут слова «Продолжение табл.».

При переносе таблицы на другой лист заголовок помещают только над её первой частью. Таблицу с большим количеством граф допускается делить на части и помещать одну часть под другой в пределах страницы.

Если таблица содержит большое количество граф, то при переносе повторяют её боковик и отмечают оставшиеся графы с заголовками и номерами.

5.1.4.5. Если повторяющийся в таблице текст состоит из одного слова, его допускается заменять прочерком в кавычках; если из двух и более слов, то при первом повторении их заменяют словами «То же», а далее – кавычками.

Ставить кавычки вместо повторявшихся цифр, марок, знаков, математических и химических символов НЕ ДОПУСКАЕТСЯ. Если цифровые данные в какой-либо строке таблицы не приводят, то в ней ставят прочерк.

5.1.4.6. Если цифровые данные в графах таблицы выражены в различных единицах физических величин, то их указывают в заголовке каждой графы после наименования величины через запятую.

Если все параметры, размещенные в таблице, выражены в одной и той же единице физической величины, сокращенное обозначение единицы величины помещают над таблицей под заголовком, например, «Размеры образцов, мм».

Если в таблице помещены графы с параметрами, выраженными преимущественно в одной единице физической величины, но есть показатели с параметрами, выраженными в других единицах, то под заголовком (над таблицей) помещают надпись с преобладающей единицей физической величины, например: «Размеры в миллиметрах», а сведения о других единицах дают в заголовках соответствующих граф.

Если все данные в строке приведены для одной физической величины, то обозначение единицы этой величины указывают в соответствующей строке боковика таблицы после наименования величины через запятую.

Включать в таблицу графу «Единицы измерения физической величины (единица величины)» не допускается.

5.1.4.7. Слова «более», «не более», «менее», «не менее», «в пределах» следует помещать рядом с наименованием соответствующего параметра или показателя (после единицы

физической величины) в боковике таблицы или в заголовке графы таблицы.

5.1.4.8. Единицы угловых величин (градусы, минуты и секунды) при отсутствии горизонтальных линеек указывают только в первой строке таблицы. При наличии в таблице горизонтальных линеек единицы угловых величин проставляют во всех строках.

5.1.4.9. Цифры в графах таблиц располагают так, чтобы разряды чисел во всей графе должны иметь одинаковое количество десятичных знаков.

5.1.4.10. Для сокращения текста заголовков и подзаголовков граф отдельные понятия заменяют буквенными обозначениями, если они пояснены в тексте или приведены на иллюстрациях, например, D – диаметр, H – высота, L – длина.

Показатели с одним и тем же буквенным обозначением группируют последовательно, в порядке возрастания индексов, например, L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub> и т.п.

5.1.4.11. При указаниях в таблицах последовательных интервалов величин, охватывавших все значения ряда, перед ними пишут «от», «св» и «до», имея в виду «до ... включительно»; в интервалах, охватывающих любые значения величин, между величинами ставят тире.

Интервалы значений величин как в таблице, так и в основном тексте работы записывают словами «от» и «до», например: «... толщина образца от 0,5 до 2,0 мм» или через тире. Например: «температура 150 - 200°C».

Пределы размеров указывают от меньших к большим.

5.1.4.12. Все таблицы нумеруют в пределах всего текста работы арабскими цифрами. Над правым верхним углом таблицы помещают надпись «Таблица» с указанием её порядкового номера. На следующей строке после слова «Таблица» пишут название таблицы.

Если в тексте работы всего одна таблица, то номер ей не присваивают и слово «Таблица» не пишут.

На все таблицы в тексте должны быть ссылки, при этом слово «таблица» пишут полностью, если таблица не имеет номера (т.е. она одна на весь текст), и сокращенно – если имеет номер, например: «... в табл. 1».

### 5.1.5. Формулы

5.1.5.1. В формулах в качестве символов следует применять

обозначения, установленные соответствующими государственными стандартами, а при их отсутствии – общепринятые в научно-технической литературе.

5.1.5.2. Значения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, должны быть приведены непосредственно под формулой. Значение каждого символа дают с новой строки в той последовательности, в которой они приведены в формуле (слева направо подряд: сначала – те, что в числителе, затем – те, что в знаменателе). Первая строка расшифровки должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него. После формулы ставится запятая.

5.1.5.3. Уравнения и формулы следует выделять из текста свободными строками. Выше и ниже каждой формулы должно быть оставлено не менее одной свободной строки. Если уравнение не уместится в одну строку, оно должно быть перенесено после знака равенства (=) или после знаков плюс (+), минус (–), умножения (×).

5.1.5.4. Все формулы, если их в тексте более одной, нумеруются арабскими цифрами в пределах всего текста работы. Номер формулы следует заключать в круглые скобки и помещать с правой стороны страницы ближе к краю на уровне формулы, например:

$$l_D = \frac{U_D - (U_A + U_K)}{\text{grad}U_C} \quad (3)$$

где  $l_D$  – длина дуги, м;

$U_D$  – напряжение на дуге, В;

$U_A$  и  $U_K$  – падение напряжения в прианодной и прикатодной области дугового разряда соответственно, В;

$\text{grad}U_C$  – продольный градиент напряжения в столбе дуги, В/м.

При ссылке в тексте на формулу следует указывать её номер в скобках, например: «... в формуле (2)».

5.1.6. Правила написания и обозначения единиц физических величин.

5.1.6.1. Допускается обозначение единиц физических величин только в единицах Международной системы (СИ).

5.1.6.2. Для написания значений величин предусматривается применять обозначения единиц буквами или специальными знаками,

например, «... °, ... ´, ... “», причем установлено два вида буквенных обозначений: международное (с использованием букв латинского или греческого алфавита) и русское (с использованием букв русского алфавита).

5.1.6.3. Допускается применять либо международные, либо русские обозначения. Одновременное применение обоих видов обозначений не допускается.

5.1.6.4. Между последней цифрой числа и обозначением единицы следует оставлять пробел:

П р а в и л ь н о

100 кВт

80 %

20 °С

Н е п р а в и л ь н о

100кВт

80%

20°С

5.1.6.5. При указании значений величин с предельными отклонениями следует заключать числовые значения с предельными отклонениями в скобках и обозначения единицы помещать после скобок или проставлять их после числового значения величины и после её предельного отклонения.

П р а в и л ь н о

(100 ± 0,1) кг

150 °С ± 5 °С

Н е п р а в и л ь н о

100 ± 0,1 кг

150 ± 5 °С

5.1.6.6. НЕ ДОПУСКАЕТСЯ помещать обозначения единиц в одной строке с формулами, выражающими зависимости между величинами или между их числовыми значениями, представленными в буквенной форме.

П р а в и л ь н о

$v=1/\tau$ ;

где  $v$  – скорость, км/ч;

пути, км;

$l$  – длина пути, км;

$\tau$  - время, ч.

Н е п р а в и л ь н о

$v=1/\tau$  км/ч;

где  $l$  – длина

$\tau$  - время, ч.

5.1.6.7. Буквенные обозначения единиц, входящих в произведение, следует отделять точками на средней линии, как знаками умножения.

П р а в и л ь н о

Н·м

Па·с

Н е п р а в и л ь н о

Нм

Пас

5.1.6.8. В буквенных обозначениях отношений единиц в качестве знака деления применяют только одну косую или горизонтальную черту. Допускается применять обозначения единиц в виде произведения обозначений единиц, возведенных в степени положительные и отрицательные.

П р а в и л ь н о

Вт·м<sup>-2</sup>К<sup>-1</sup>

$\frac{Вт}{м^2 К}$

$\frac{Вт}{м^2 К}$

Н е п р а в и л ь н о

Вт/м<sup>2</sup>/К

$\frac{Вт}{м^2 / К}$

$\frac{Вт}{м^2 / К}$

5.1.6.9. При применении косой черты обозначения в числителе и знаменателе помещают в строку; произведение значений единиц в знаменателе заключают в скобки.

П р а в и л ь н о

м/с

А/м

Вт/(м·К)

Дж/(кг·К)

Н е п р а в и л ь н о

м/  
с

А/  
м

Вт/м·К

Дж/кг·К

5.1.6.10. При указании производной единицы, состоящей из двух и более единиц, НЕ ДОПУСКАЕТСЯ комбинировать буквенные обозначения и наименования единиц, т.е. для одних единиц приводить обозначения, а для других – наименования.

П р а в и л ь н о

100 °С/мин

100 градусов Цельсия в минуту

Н е п р а в и л ь н о

100 °С/минута

100 °С в минуту

5.1.6.11. Десятичные кратные и дольные единицы, а также их

наименования и обозначения следует образовывать с помощью множителей и приставок, приведенных в табл. 5.2.

Таблица 5.2 - Множители и приставки для десятичных кратных и дольных единиц и их наименований

| Множитель | Приставка | Обозначение приставки |         |
|-----------|-----------|-----------------------|---------|
|           |           | Международное         | Русское |
| $10^9$    | гига      | G                     | Г       |
| $10^6$    | мега      | M                     | М       |
| $10^3$    | кило      | k                     | к       |
| $10^2$    | гекто     | h                     | г       |
| $10^1$    | дека      | da                    | да      |
| $10^{-1}$ | деци      |                       | д       |
| $10^{-2}$ | санти     | с                     | с       |
| $10^{-3}$ | милли     |                       | м       |
| $10^{-6}$ | микро     |                       | мк      |

5.1.6.12. Если в использованном источнике либо на средстве измерения указаны значения в ранее применявшихся единицах, то в тексте работы значение физической величины указывают в системе СИ, а рядом, в скобках, значение в ранее применявшихся единицах, например: “атмосферное давление ( $10 \pm 4$ ) кПа (( $750 \pm 30$ )мм рт. ст.)”.

5.1.6.13. Значения температуры в тексте работы следует указывать либо в кельвинах, либо в градусах Цельсия, одновременное использование этих единиц **НЕ ДОПУСКАЕТСЯ**. В случае необходимости разрешается приводить значения температуры в виде:

“температура от  $5$  до  $40^\circ\text{C}$  (от  $278$  до  $313\text{ K}$ )”

Государственным стандартом регламентировано следующее правило буквенного обозначения температуры:

Термодинамическая температура, К – T;

Практическая температура,  $^\circ\text{C}$  – t .

5.1.6.14. Обозначения единиц, названных в честь ученых, пишут с прописной (заглавной) буквы (А, К, Ф, В, Вт, Кл и др.).

5.1.6.15. К обозначениям единиц и их наименованиям **НЕЛЬЗЯ ДОБАВЛЯТЬ БУКВЫ (СЛОВА)**, указывающие на физическую величину или объект. Во всех таких случаях определяющие слова присоединяют к наименованию величины, а единицу обозначать в соответствии со стандартом.

П р а в и л ь н о  
Погонная длина 10 м  
Объем газа (приведенный  
к нормальным условиям) 300м<sup>3</sup>  
Масса топлива (условного) 7000т  
  
Массовая доля серы 5%  
Объемная доля азота 10%  
Уровень шума по шкале А 20 дБ

Н е п р а в и л ь н о  
Длина 10 п.м (или пм)  
Объем газа 300 м<sup>3</sup> (или Нм)  
  
Масса топлива 7000 тут  
(тонна условного топлива)  
Содержание серы 5% масс.  
Содержание азота 10% об.  
Уровень шума 20 дБА

5.1.6.16. Обозначения единиц, совпадающие с наименованиями этих единиц, по падежам и числам не изменяют, если они помещены после числовых значений, а также в заголовках граф, боковых таблиц, выводах, в пояснениях обозначений величин к формулам. К таким обозначениям относятся: бар, вар, моль, рад. Следует писать: 1 моль, 2 моль, 5 моль и т.д.

При выборе наименований физических величин следует руководствоваться стандартами, устанавливающими терминологию в области величин.

В тексте работы обозначения единиц физических величин должны соответствовать наименованиям этих величин.

П р а в и л ь н о  
Масса загрузки 100 кг  
Молярная теплоемкость  
300 Дж/(моль·К)

Н е п р а в и л ь н о  
Вес загрузки 100 кг  
Молярная теплоемкость  
300 Вт·ч/(моль·К)

#### 5.1.7. Содержание

Содержание должно включать наименования всех разделов, подразделов и пунктов, если они имеют наименования, с указанием номеров страниц, на которых размещено начало соответствующего раздела, подраздела или пункта.

По структуре “содержание ” является третьей страницей пояснительной записки.

#### 5.1.8. Список использованных источников

Список должен содержать перечень источников,

использованных при выполнении работы.

Источники следует располагать в порядке появления ссылок в тексте. Номер ссылки приводится в прямых скобках (например, [5] ).

Сведения о книгах (монографиях, учебниках, учебных пособиях, справочниках и т.д.) должны включать: фамилии и инициалы авторов, название книги, место издания, издательство и год издания. Допускается не указывать объем книги.

ПРИМЕРЫ:

1. Если книга написана тремя и менее авторами:

Кривандин В.А., Егоров А.В. Тепловая работа и конструкции печей черной металлургии. Учебник для вузов.- М.: Металлургия, 1989. 462с.

2. Если книга написана тремя и более авторами:

Короткие сети и электрические параметры дуговых электропечей: Справочник / Данцис Я.Б., Кацевич Л.С., Жилов Г.М. и др. – М.: Металлургия. 1987.

Сведения о статье из периодического издания (отечественного или зарубежного) должны включать: фамилию и инициалы автора, заглавие статьи, наименование издания (журнала), наименование серии (если таковая имеется), год выпуска, том, номер, выпуск, страницы, на которых опубликована статья.

При этом допускается:

Не указывать страницы, на которых опубликована статья, но при этом обязательно указать ее основное заглавие.

Перед названием журнала, в котором опубликована статья, следует ставить знак “две косые черты ” (//) с пробелом до и после него.

Например:

Окороков Н.В. К вопросу о методах расчета дуговых сталеплавильных печей. // Сталь, 1954, N9.

или

Окороков Н.В. // Сталь, 1954, N9, с. 814 – 818.

Schwabe W.E. Lightning flicker caused by elektrik arc furnaces. // Iron and Steel Engineer, 1958, vol. 35, N8.

или

Schwabe W.E. // Iron and Steel Engineer, 1958, vol. 35, N8, pp. 95 – 102.

Сведения о государственных, отраслевых стандартах и технических условиях должны включать следующие данные:

обозначение документа, включающие его индекс (ГОСТ, ОСТ, ТУ), номер документа, основной заголовок.

Например:

ГОСТ 10 888-93. Изделия высокоогнеупорные периклазо-хромитовые для кладки сводов сталеплавильных печей. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1994.

Сведения о санитарных нормах (СН), санитарных нормах и правилах (СНиП) должны содержать: обозначение документа, включающее его индекс (СН, СНиП), номер документа, основной заголовок, место издания, издательство, год.

Например:

СНиП II-4-79. Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования. - М.: Стройиздат, 1980.

Сведения о патентных документах должны содержать следующие данные в указанном порядке: обозначение вида патентного документа, номер, название страны, выдавшей документ, индекс международной классификации изобретений, название изобретения, инициалы и фамилия авторов.

Например:

Патент 2084541 РФ, МКИ 6с21с5/48. Фурма для дожигания горючих газов в полости сталеплавильных агрегатов. / Арутюнов В.А., Стомахин А.Я., Егоров А.В. и др.

#### 5.1.9. Приложение

В приложение включают вспомогательный материал, необходимый для полноты представлений о работе. Таким материалом могут служить:

Промежуточные математические выкладки и расчеты;

Таблицы вспомогательных цифровых данных;

Описание алгоритмов и программ задач, решаемых на ЭВМ, разработанных в процессе выполнения работы.

Каждое Приложение следует начинать с нового листа с указанием в правом верхнем углу слова “ПРИЛОЖЕНИЕ”, написанного (напечатанного прописными буквами). Приложение должно иметь содержательный заголовок.

Если в пояснительной записке более одного Приложения, то их нумеруют последовательно арабскими цифрами (без знака “N”), например: ПРИЛОЖЕНИЕ 1, ПРИЛОЖЕНИЕ 2 и т.д.

Текст каждого Приложения при необходимости разделяют на подразделы и пункты, нумеруемые в пределах каждого Приложения, перед ними ставят букву “П”, например: ”П.1.2” (второй подраздел первого Приложения).

Рисунки, таблицы и формулы, помещаемые в Приложении, нумеруют арабскими цифрами в пределах Приложения, например: “Рис. П.1.1” (первый рисунок первого Приложения), “Табл. П.1.1” (первая таблица первого Приложения), “Формула П.1.1” (первая формула первого Приложения).

5.1.10. Построение диаграмм и графиков функциональных зависимостей

В курсовых проектах выполняют статистические и динамические программы и графики.

В качестве статистических используют диаграммы простого составления (столбиковые, полосовые) и структурные (круговые, полосовые, балансовые).

В качестве динамических диаграмм и графиков применяют: прямоугольные с равномерными и неравномерными масштабами шкал (логарифмическими, логарифмически – вероятностными и др.), а также круговые (в полярных координатах).

Для информационного изображения функциональных зависимостей переменных величин можно применять также бесшкальные диаграммы и графики.

5.1.10.1. Общие правила построения диаграмм

1. Для иллюстраций к тексту курсовых проектов диаграммы выполняют на небольшом формате, как правило в пределах формата А4, при этом допускается применение нестандартного формата.

2. В прямоугольной системе координат независимую переменную откладывают по оси абсцисс. В полярной системе координат положительное направление угловых координат соответствует направлению вращения против часовой стрелки.

3. Оси координат (базовые линии), шкалы выполняют сплошной основной толстой линией толщиной 0,8 – 1,5 мм. Линии координатной сетки и делительные штрихи выполняют сплошной тонкой линией толщиной 0,4 – 0,5 мм.

4. В качестве шкалы значений переменных величин используют координатные оси, линии координатной сетки, которая ограничивает поле диаграммы. При необходимости большого количества шкал используют прямые, расположенные параллельно координатным

осям.

5. В бесшкальной диаграмме оси координат заканчивают стрелками. Допускается применение стрелок на концах осей координат также и в шкальной диаграмме (стрелки ставят за пределами шкалы).

6. Значения переменных величин указывают рядом с делениями сетки или делительными штрихами и размещают вне поля диаграммы горизонтально.

7. Обозначения единиц величин наносят одним из следующих способов:

- в конце шкалы между последним и предпоследними числами;

- в конце шкалы за последним числом вместе с обозначением переменной величины после запятой.

Единицы угловых величин (градусы, минуты, секунды) следует наносить один раз – у последнего числа шкалы.

8. Точки диаграмм (графиков), полученные путем измерения или расчётов, обозначают кружком, треугольником, крестиком и т.п., размер которых в 1,5-2,0 раза больше толщины соответствующей линии функциональной зависимости. На графике одной функциональной зависимости ее изображают сплошной линией толщиной 1,6-3,0 мм. В случаях, когда необходимо обеспечить требуемую точность отсчета, допускается изображать её линией меньшей толщины (0,8-1,5 или 0,4-0,5).

9. Если на одной диаграмме (графике) изображают две или более функциональные зависимости, их выполняют линиями различных типов (сплошной, штриховой, штрихпунктирной). У этих линий проставляются наименования и (или) обозначения соответствующих величин или порядковые номера. Обозначения и номера должны быть разъяснены в тексте соответствующего раздела работы или пояснении к диаграмме.

Наименование диаграммы (графика) и пояснительную часть поясняют после слова «Рис....» под ней. Пояснительную графическую часть можно помещать на свободном месте поля диаграммы. На диаграммах и графиках функциональных зависимостей не допускается размещать обозначение единицы величины рядом с буквенным условным обозначением этой величины.

#### 5.1.10.2. Правила выполнения схем

Схемы (за исключением блок-схем алгоритмов программ) выполняют без соблюдения масштаба, с наименьшим количеством изломов и пересечений линий связи. При этом расстояние между параллельными линиями связи должно быть более 3 мм.

При выполнении схем следует руководствоваться следующим:

- схемы выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ ЕСКД.
- на схемах не поясняют стандартизированные обозначения;
- допускается помещать различные технические данные, характер которых определяется назначением схем. Эти сведения указывают либо около графических изображений (по возможности, справа или сверху), либо на свободном поле схемы (рядом с основной надписью);
- на свободном поле схемы разрешается размещать диаграммы, таблицы, текстовые материалы.

5.1.11. Текст должен быть написан с соблюдением правил орфографии и пунктуации. Текст должен быть тщательно отредактирован студентом перед сдачей проекта преподавателю на проверку.

### 5.2. Графическая часть

#### 5.2.1. Оформление. Общие требования

К стандартам оформления чертежей прежде всего относят стандарты на содержание чертежа и его оформление, в том числе на форматы, масштабы, линии, шрифт, основную надпись, графическое обозначение материалов. Чертежи должны быть выполнены в строгом соответствии с требованиями системы ГОСТов ЕСКД.

#### 5.2.2. Чертеж общего вида

Чертеж общего вида является обязательным документом на стадии технического проектирования, определяющим конструкцию печи (установки). На следующей стадии проектирования на основании чертежа общего вида разрабатывают рабочую документацию: чертежи отдельных деталей, сборочный чертеж узлов со спецификацией, схему КИПиА, электроснабжения, разводки газов и т.п.

5.2.2.1. Чертеж общего вида должен содержать:

- изображение печи (установки) (виды, разрезы, сечения), текстовую часть и надписи, необходимые для понимания конструкции и взаимодействия ее составных частей;
- наименования, а так же обозначения (если они имеются) тех составных частей печи, для которых необходимо указать данные или запись которых необходима для пояснения чертежа общего вида, описания принципа работы печи, указания о составе и др.;
- размеры габаритные, присоединительные, посадочные и справочные;
- схему, если она требуется;

5.2.2.2. На свободном поле чертежа справа от изображения или ниже его размещают необходимые таблицы (техническая характеристика). Если на чертеже одна такая таблица (не считая составных частей изделия), то слово “таблица” над ней не пишется. Все таблицы заполняют сверху вниз. Высота строк таблицы должна быть не менее 8 мм, высота головки 15 мм.

### 5.2.3. Спецификация

Спецификация является основным конструкторским документом для сборочной единицы.

Спецификация определяет состав сборочной единицы и необходима для комплектования конструкторских документов и изготовления сборочной единицы.

### 5.2.4. Чертеж детали (рабочий чертеж).

Чертеж детали - это рабочий документ, содержащий изображения детали и другие данные, необходимые для ее изготовления и контроля. На поле чертежа кроме изображений с размерами и необходимыми знаками шероховатости поверхностей детали располагают:

- технические требования (над основной надписью);
- знаки шероховатости (в правом верхнем углу);
- таблицу параметров, характеризующих изображенную деталь.

Текстовую часть, надписи и таблицы включают в чертеж, когда содержащиеся в них данные невозможно выразить графически или условными обозначениями. Текст надписи должен быть точным и кратким и располагаться параллельно основной надписи чертежа. Заголовок “Технические требования” не пишут. Пункты технических

требований должны иметь сквозную нумерацию и группироваться по своему характеру.

На рабочих чертежах помещают необходимые данные, характеризующие свойства материала готовой детали и материала, из которого деталь должна быть изготовлена. В основной надписи чертежа детали указывают вид, наименование и марку материала в соответствии с его стандартом или другим нормативным документом.

#### 5.2.5. Схемы

5.2.5.1. Схема – графический конструкторский документ, на котором показаны в виде условных обозначений части печи, связи между ними. Наименование схемы определяется ее видом и типом, например, схема электрическая принципиальная, схема электропневмогидравлическая принципиальная. Это наименование должно записываться в основной надписи, после наименования печи, для которой разработана схема.

##### 5.2.5.2. Общие требования к выполнению схем:

- схемы выполняют без соблюдения масштаба и действительного расположения составных частей изделия;

- линии связи, условно представляющие собой трубопроводы, кабели, и т. п. должны состоять из горизонтальных и вертикальных отрезков и иметь количество изломов и пересечений. Длину наклонных отрезков следует, по возможности, ограничивать. Расстояние между двумя соседними параллельными линиями связи должно быть не менее 3 мм, толщина линий связи – от 0,2 до 1 мм.

- линии связи следует показывать, как правило, полностью. Их допускается обрывать, если они затрудняют чтение схемы. Обрывы линий связи заканчивают стрелками, а около стрелок указывают места подключения и (или) необходимые характеристики цепей (например, полярность, потенциал, и т.п.);

- схемы допускается выполнять в пределах условного контура, упрощенно изображающего конструкцию печи, контур при этом выполняют сплошной тонкой линией.

- при выполнении схем применяют условные графические обозначения элементов и устройств, установленные стандартами ЕСКД. В случае необходимости применяют нестандартизированные графические обозначения, а на схеме приводят соответствующие пояснения;

- условные графические обозначения элементов должны

изображаться в размерах, установленных в соответствующих стандартах и линиями той же толщины, что и линии связи. Допускается все обозначения пропорционально увеличивать (при вписывании в них поясняющих знаков) или уменьшать;

- на схемах допускается помещать различные технические данные, характер которых определяется назначением схемы. Такие сведения указывают либо около графических обозначений (по возможности справа и сверху), либо помещают на свободном поле схемы. Около графических обозначений элементов и устройств помещают, например, номинальные значения их параметров, а на свободном поле схемы – диаграммы, таблицы, текстовые задания;

- перечень элементов, изображенных на схеме, оформляют в виде таблицы – приложения. Таблицу помещают на поле листа схемы или выполняют как самостоятельный документ на формате А4.

## 6 ЗАЩИТА КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Защита студентом курсовой работы является творческой формой проверки качества выполненного им задания. Основная цель защиты: научить студента технически грамотному изложению основных проектных решений и выводов перед аудиторией, обоснованию принятых им решений и выводов, воспитанию чувства ответственности за качество разработанной им инженерной задачи.

Защита курсовой работы происходит на заседании комиссии, определяемой зав. Кафедрой при участии руководителя курсового проекта. Целесообразно присутствие на заседании комиссии студентов группы.

Защита состоит из краткого (5-6мин.) доклада студента с обязательной демонстрацией технических решений по выполненным чертежам и ответа на вопросы, предлагаемые членами комиссии и студентами группы.

Студент должен четко и технически грамотно доложить основные технические решения, уметь объяснить использованные в расчетной части проекта зависимости, формулы и методики расчета. Общая продолжительность защиты одного проекта – до 20 мин.

Курсовую работу оценивают дифференцированной оценкой. Положительную оценку заносят в зачетную ведомость за подписью всех членов комиссии. Положительную оценку проставляют также на обложке Пояснительной записки за подписью руководителя и

председателя комиссии. При оценке курсовой работы учитывают не только качество выполненной работы и доклада студента, но и отношение студента к работе над работой в течение учебного семестра.

Студент, не выполнивший в срок курсовую работу или получивший неудовлетворительную оценку, считается имеющим академическую задолженность, и вопрос о возможности и сроках защиты решается кафедрой и деканатом.

Повторная защита может быть проведена по тому же курсовой работе с внесением необходимых исправлений и дополнений в чертежи и текст расчетно – пояснительной записки.

## Литература

1. Кривандин В.А., Марков Б.Л. Metallургические печи-М.: Metallургия, 1985
2. Егоров А.В. Расчет мощности и параметров электроплавильных печей-М.: МИСИС, 2000
3. Тебенков Б.П. Рекуператоры для промышленных печей-М.: Metallургия, 1987
4. Долотов Г.П., Кондаков Е.А. Печи и сушила литейного производства-М.: Машиностроение, 1990
5. Основные процессы и аппараты химической промышленности/Под ред. Дытнерского Ю.Н.-М.: Химия, 1991
6. Свенчанский А.Д. Электрические промышленные печи-М.: Машиностроение, 1985
7. Егоров А.В. Электроплавильные печи черной металлургии-М.: Metallургия, 1985
8. Расчет нагревательных и термических печей. Справочник/Под ред. Тымчака В.М. и Гусовского В.А.-М.: Metallургия, 1983
9. Окорочков Н.В. Печи в литейном производстве-М.: Машиностроение, 1986

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П.О. Сухого»

Кафедра «Машины и технология литейного производства»

РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
к курсовой работе по курсу  
«Печи литейных цехов»  
на тему «Комплексная ваграночная установка закрытого типа»

Разработал  
студент гр. Л-41  
Иванов А.М.  
Руководитель проекта  
к.т.н., доцент  
Ровин Л.Е.

Гомель 2009

Рекомендуемые темы курсовых работ

Темы курсовых работ выбираются с учетом материалов, собранных студентом во время производственной практики. В связи с этим целесообразно ознакомить студентов с рекомендованным списком тем курсовых работ перед началом практики.

При выборе темы преподаватель – руководитель курсовой работы перед началом может варьировать технические характеристики печи или установки, состав шихты, размеры заготовок, отливок, тип топлива, параметры нагрева и т.п.

1. Вагранка открытого типа, коксовая, холодного дутья, футерованная, производительностью ...т/ч, со стационарным или поворотным копильником, мокрым пылеуловителем.

2. Вагранка открытого типа, коксовая, с отдельным дутьем, футерованная, производительностью ...т/ч со стационарным или поворотным копильником, мокрым пылеуловителем.

3. Вагранка открытого типа, коксовая, с горячим дутьем, водоохлаждаемая со встроенным рекуператором, производительностью ...т/ч, со стационарным или поворотным копильником, мокрым пылеуловителем.

4. Комплексная ваграночная установка закрытого типа.

5. Коксогазовая вагранка.

6. Газовая вагранка.

7. Электродуговая печь с поворотным сводом.

8. Электродуговая печь с выкатным корпусом.

9. Электродуговая печь постоянного тока.

10. Индукционная тигельная печь для плавки чугуна.

11. Индукционная тигельная печь для плавки алюминиевых сплавов.

12. Двухванная индукционная печь для плавки медных сплавов.

13. Среднечастотная индукционная печь.

14. Высокочастотная индукционная печь.

15. Канальная индукционная печь.

16. Барабанная пламенная печь для плавки цветных сплавов.

17. Роторная качающаяся печь для плавки цветных сплавов.

18. Печь сопротивления для плавки цветных сплавов с металлическими или керамическими нагревателями.

19. Вакуумная плавильная печь.

20. Установка электрошлакового переплава.

21. Установка подогрева шихты, одно- или двухступенчатая.

22. Рекуператор радиационный.

23. Рекуператор конвективный.

24. Комбинированный рекуператор.

25. Утилизатор (водоподогреватель)

26. Барабанное сушило для песка.

27. Установка сушки песка в кипящем слое.

28. Ротационное сушило.

29. Нагревательная камерная печь.

30. Нагревательная обжиговая печь проходного типа.

31. Конвейерная печь.

32. Методическая печь.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.

Форма записи основной надписи для чертежей и схем. Форма 1.

|          |         |          |         |      |                         |  |  |        |        |         |  |
|----------|---------|----------|---------|------|-------------------------|--|--|--------|--------|---------|--|
| 185      |         |          |         |      |                         |  |  |        |        |         |  |
|          |         |          |         |      |                         |  |  |        |        |         |  |
|          |         |          |         |      | Обозначение документа * |  |  |        |        |         |  |
| ИЗМ      | ЛИСТ    | № ДОКУМ. | ПОДПИСЬ | ДАТА | Наименование объекта ** |  |  | ЛИТЕРА | МАССА  | МАСШТАБ |  |
| РАЗРАБ.  | Студент |          |         |      |                         |  |  | Ц      | 17     | 18      |  |
| ПРОВЕРИЛ | Преп.   |          |         |      |                         |  |  | ЛИСТ   | ЛИСТОВ |         |  |
| Н.КОНТР. |         |          |         |      |                         |  |  | ***    |        |         |  |
| УТВ.     | Пр.ком. |          |         |      |                         |  |  |        |        |         |  |

\* - Пример обозначения документа: КП-№.№.год ..СБ (ОВ) :КП-12.41.04 СБ

\*\* - Пример наименования объекта: Рекуператор конвективный  
(Сборочный чертеж)

\*\*\* - N группы

Пример заполнения основной надписи на текстовых документах (спецификации)

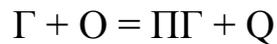
Первый лист. Форма 2.

|        |          |         |          |         |             |                          |  |  |        |       |         |  |
|--------|----------|---------|----------|---------|-------------|--------------------------|--|--|--------|-------|---------|--|
| 185    |          |         |          |         |             |                          |  |  |        |       |         |  |
|        |          |         |          |         |             |                          |  |  |        |       |         |  |
|        |          |         |          |         | КП-12.41.04 |                          |  |  |        |       |         |  |
| 8x5=40 | ИЗМ      | ЛИСТ    | № ДОКУМ. | ПОДПИСЬ | ДАТА        | Рекуператор конвективный |  |  | ЛИТЕРА | МАССА | МАСШТАБ |  |
|        | РАЗРАБ.  | Студент |          |         |             |                          |  |  | Л      | 41    |         |  |
|        | ПРОВЕРИЛ | Преп.   |          |         |             |                          |  |  | Л - 41 |       |         |  |
|        | Н.КОНТР. |         |          |         |             |                          |  |  |        |       |         |  |
| УТВ.   | Пр.ком.  |         |          |         |             |                          |  |  |        |       |         |  |

Расчёт горения топлива

Горение любого топлива осуществляется в целях получения определенного количества теплоты, необходимой для проведения какого-либо технологического процесса, требующего развития высоких температур.

Как уже отмечалось, процесс горения - это окисление горючих элементов топлива с выделением теплоты, поэтому в общем виде этот процесс можно представить в виде



где Г - горючие составляющие топлива; О - окислитель;

ПГ - продукты горения; Q - теплота, выделяемая при горении. В качестве окислителя в промышленных теплотехнических установках используют воздух или воздух, обогащенный кислородом.

Расчет горения топлива имеет целью определение количественных характеристик, к которым относят расход атмосферного воздуха или воздуха, обогащенного кислородом, необходимый для полного сжигания единицы топлива ( $L$ , м<sup>3</sup>/кг или м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>), выход ( $V$ , м.<sup>3</sup>/кг или м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>) и состав продуктов сгорания, а также температуру горения топлива ( $t_{гор}$ , °С). Расчет указанных характеристик можно осуществлять либо на основе представленного химического состава топлива либо на основе теплоты сгорания и вида топлива (приближенные расчеты). Отношение действительно введенного количества воздуха к теоретически необходимому называют коэффициентом избытка воздуха ( $\alpha$ )

$$\alpha = \frac{L_{\alpha}}{L_0}$$

Тогда тепловой баланс такого адиабатического процесса может быть представлен уравнением:

$$Q_2 + Q_3 + Q_4 = Q_H^p + Q_T + Q_B$$

где  $Q_2$  – теплота продуктов сгорания;  $Q_3$  - химический недожог

топлива включая диссоциацию продуктов сгорания;  $Q_4$  – механический недожог топлива;  $Q_H^P$  – теплота, вносимая единицей топлива при полном горении;  $Q_T$  – физическая теплота подогретого топлива;  $Q_B$  – физическая теплота подогретого воздуха.

В этом уравнении отсутствуют затраты теплоты на обработку технологического материала ( $Q_1$ ) и потери теплоты в окружающую среду ( $Q_5$ ) ввиду адиабатических условий процесса горения.

В этом случае теплоту продуктов сгорания  $Q_2$  можно представить как

$$Q_2 = C_{пр.сг} t_{гор} V_\alpha$$

где  $C_{пр.сг}$  – удельная теплоемкость продуктов сгорания;  $t_{гор}$  – температура горения;  $V_\alpha$  – практический выход продуктов сгорания при сжигании единицы топлива.

Теоретическая температура горения, °С:

$$t_\alpha^\delta = \frac{Q_H^P + Q_T + Q_B - Q_{здис}}{C_{пр.сг} \cdot V_\alpha}$$

Если имеет место реальный химический и механический недожог топлива и сохраняются те же остальные условия, то можно рассчитать так называемую балансовую температуру горения, °С:

Все расчёты ведутся на единицу топлива (1 кг для твёрдых и жидких и 1 м<sup>3</sup> для газообразных топлив). Все газовые объёмы рассчитываются при нормальных условиях, т.е. при 0 °С и давлении 760 мм рт. ст. Объём одного моля газов в этих условиях принимают 22,4 м<sup>3</sup>. В качестве окислителя используют атмосферный воздух, состав которого принимают неизменным: 21% кислорода и 79% азота. Соотношение азота и кислорода воздуха представляют в виде константы  $K=79/21=3,76$ . При обогащении дутья кислородом константа соотношения азота и кислорода уменьшается. Значение константы с изменением содержания кислорода в дутье приведено ниже:

|  |      |     |     |     |     |      |      |      |      |
|--|------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| Содержание<br>O <sub>2</sub> в дутье,<br>об. % | 21   | 25  | 33  | 40  | 50  | 60   | 70   | 80   | 90   |
| $K = \frac{N_2}{O_2}$                          | 3,76 | 3,0 | 2,0 | 1,5 | 1,0 | 0,66 | 0,43 | 0,25 | 0,11 |

Точные расчёты горения топлив, основанные на стехиометрических соотношениях горючих составляющих и окислителя, принято называть аналитическими.

Для аналитического расчета необходимо знать элементарный состав топлива

$$C^P + H^P + O^P + N^P + S^P + A^P + W^P = 100\% .$$

Соответствующие реакции окисления:



Для окисления одного моля углерода массой 12 кг требуется один моль кислорода, занимающего объем 22,4 м<sup>3</sup>. Следовательно, расход кислорода на окисление 1 кг углерода будет равен:  $\frac{22,4}{12} = 1,867 \text{ м}^3 / \text{кг}$ . Для окисления углерода  $C^P\%$ , содержащегося в 1

кг данного топлива, потребуется  $V_{O_2}^C = 0,01 \cdot 1,867 \cdot C^P \text{ м}^3$  кислорода.

Для окисления двух молей водорода массой 4 кг требуется только один моль кислорода, т.е. на горение 1 кг водорода необходимо затратить кислорода  $\frac{22,4}{4} = 5,6 \text{ м}^3 / \text{кг}$ . Тогда для окисления водорода в количестве  $H^P\%$  потребуется объем кислорода:

$$V_{O_2}^H = 0,01 \cdot 5,6 H^P \text{ м}^3$$

Аналогично для серы:

$$V_{O_2}^S = 0,01 \frac{22,4 \cdot S^P}{32} = 0,01 \cdot 0,7 \cdot S^P \text{ м}^3$$

Теоретическое количество сухого воздуха можно определить из выражения, м<sup>3</sup>/кг:

Действительный расход сухого воздуха, м<sup>3</sup>/кг:

$$L_0^{c.6} = (1 + k) \cdot V_{O_2}$$

Действительный расход сухого воздуха, м<sup>3</sup>/кг:

$$L_\alpha^{c.6} = \alpha \cdot L_0^{c.6}$$

Влагосодержание воздуха, как и горючих газов, задают в количестве граммов водяных паров, приходящихся на 1 м<sup>3</sup> сухого воздуха  $g^{c.6}$  г/м<sup>3</sup>. Объем, занимаемый этой влагой, можно определить, используя молярное соотношение. Один моль водяных паров массой 18 кг занимает объем 22,4 м<sup>3</sup>, а объем 1 г влаги 22,4 м<sup>3</sup>, а объем 1 г влаги равен  $\frac{22,4}{18 \cdot 1000} = 0,00124$  м<sup>3</sup> / г. Тогда объем водяных паров, содержащихся в воздухе, необходимый для горения единицы топлива, будет равен  $0,00124 \cdot g^{c.6} \cdot L_0^{c.6}$ , а теоретический и действительный расходы влажного воздуха составят, м<sup>3</sup>/кг:

$$L_0^{6.6} = (1 + 0,00124 \cdot g^{c.6}) \cdot L_0^{c.6},$$

$$L_\alpha^{6.6} = \alpha \cdot L_0^{6.6}$$

При полном сгорании топлива с  $\alpha = 1$  образуются продукты сгорания, содержание  $CO_2, SO_2, H_2O$  и  $N_2$ .

Объем дымовых газов, образующихся при сгорании 1 кг твердого или жидкого топлива при  $\alpha = 1$ , будет равен, м<sup>3</sup>/кг:

$$V_0 = V_0^{CO_2} + V_0^{SO_2} + V_0^{H_2O} + V_0^{N_2}$$

Из одного моля углерода массой 12 кг образуется один моль  $CO_2$  объемом 22,4 м<sup>3</sup>, т.е. в результате окисления 1 кг углерода образуется 1,867 м<sup>3</sup> диоксида углерода, а объем  $CO_2$

$$V_0^{CO_2} = 0,01 \cdot 1,867 \cdot C^P \text{ м}^3 / \text{кг}$$

Объем образовавшегося  $SO_2$ :

$$V_0^{SO_2} = 0,01 \cdot 0,7 \cdot S^P \text{ м}^3 / \text{кг}$$

Объем ( $\text{м}^3/\text{кг}$ ) водяных паров при окислении водорода можно определить из мольного соотношения по реакции его горения: из одного моля водорода массой 2 кг образуется один моль водяных паров объемом  $22,4 \text{ м}^3$ . Тогда

$$V_{H_2O}^H = 0,01 \cdot 11,2 H^P$$

При испарении влаги топлива и распылителя из одного моля воды массой 18 кг образуется один моль паров объемом  $22,4 \text{ м}^3$ , тогда объем этой влаги составит:

$$V_{H_2O}^{W^P+W\phi} = 0,01 \cdot 1,244 (W^P + W\phi) \text{ м}^3 / \text{кг}$$

Объем водяных паров, внесенных с воздухом, равен.

$$V_{H_2O}^{возд} = 0,00124 \cdot g^{c.в} L_0^{c.в} \text{ м}^3 / \text{кг}$$

Источниками азота в продуктах полного сгорания являются само топливо ( $N^P \%$ ) и атмосферный воздух или обогащенное дутье.

По массе моля азота (28 кг) и его объему ( $22,4 \text{ м}^3$ ) легко определить объем 1 кг азота:  $\frac{22,4}{28} = 0,8 \text{ м}^3$ .

Тогда

$$V_{N_2}^{ТОП} = 0,01 \cdot 0,8 \cdot N^P \text{ м}^3 / \text{кг}$$

В атмосферном воздухе при соотношении азота и кислорода  $k = \frac{N_2}{O_2}$  объем азота составляет,  $\text{м}^3$ :

$$V_{N_2}^{603} = k \cdot V_{O_2}$$

Общий объем азота в дымовых газах, м<sup>3</sup>/кг:

$$V_0^{N_2} = 0,01 \cdot 0,8 \cdot N^P + kV_{O_2}$$

Состав продуктов полного сгорания при сжигании 1 кг топлива с  $\alpha = 1$  может быть определен следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} CO_2 &= \frac{V_O^{CO_2}}{V_O} \cdot 100\%; & N_2 &= \frac{V_O^{N_2}}{V_O} \cdot 100\%; \\ SO_2 &= \frac{V_O^{SO_2}}{V_O} \cdot 100\%; & H_2O &= \frac{V_{H_2O}}{V_O} \cdot 100\%. \end{aligned} \right\}$$

В связи с тем, что при  $\alpha = 1$  предусматривается полное окисление горючих компонентов, объем  $CO_2$ ,  $SO_2$  и  $H_2O$  естественно, не изменится и при  $\alpha > 1$ . Но избыточный воздух повлияет на величины  $V_{H_2O}$  и  $V_{N_2}$  м<sup>3</sup>/кг:

$$V_\alpha^{H_2O} = V_0^{H_2O} + 0,00124 \cdot g^{c.s} (\alpha - 1) \cdot L_0^{c.s},$$

$$V_\alpha^{N_2} = V_0^{N_2} + k(\alpha - 1) \cdot V_{O_2}$$

В дополнение к этому в продуктах сгорания появится свободный (избыточный) кислород, объем, м<sup>3</sup>/кг, которого определяют как:

$$V_0^{изб} = (\alpha - 1) \cdot V_{O_2}$$

С учетом всех дополнений можно рассчитать объем, м<sup>3</sup>/кг, продуктов сгорания при  $\alpha > 1$ :

$$V_\alpha = V_\alpha^{CO_2} + V_\alpha^{H_2O} + V_\alpha^{N_2} + V_{O_2}^{изб}$$

$$CO_2 = \frac{V_{\alpha}^{CO_2}}{V_{\alpha}} \cdot 100\%; \quad SO_2 = \frac{V_{\alpha}^{SO_2}}{V_{\alpha}} \cdot 100\%; \quad H_2O = \frac{V_{\alpha}^{H_2O}}{V_{\alpha}} \cdot 100\%;$$

$$N_2 = \frac{V_{\alpha}^{N_2}}{V_{\alpha}} \cdot 100\%; \quad O_2^{изб} = \frac{V_{O_2}^{изб}}{V_{\alpha}} \cdot 100\%.$$

Итак, химическая энтальпия продуктов сгорания  $\text{кДж/м}^3$ , подогретого топлива

$$i_x = \frac{c_T t_T}{V_{\alpha}},$$

где  $c_T$  – удельная теплоемкость подогретого топлива;  $t_T$  – температура подогрева топлива.

Энтальпия,  $\text{кДж/м}^3$ , подогретого воздуха

$$i_{\alpha} = \frac{c_{\alpha} t_{\alpha} L_{\alpha}}{V_{\alpha}}$$

где  $c_{\alpha}$  – удельная теплоёмкость подогретого воздуха;  $t_{\alpha}$  – температура подогрева воздуха;  $L_{\alpha}$  – количество воздуха для сжигания единицы топлива.

### Материальный баланс вагранки

Расчет материального баланса основывается на данных, полученных путем непосредственного замера основной массы материалов, загружаемых в вагранку, и получаемых из неё продуктов. Установление количества материалов, взвешивание которых затруднительно (например, шлака, песка и окислов, вносимых шихтой, и др.) или практически невозможно (например, оплавленной футеровки), производится расчетным путем. Все полученные результаты анализов, замеров и расчета внесены в табл.

#### 1. Исходные данные для расчета материального баланса

Исходные данные, полученные путем непосредственного замера и анализов материалов.

- 1) Расход кокса на плавку – 15 % от веса металлозавалки.
- 2) Расход известняка – 3,5 % от веса металлозавалки.
- 3) Средний химический состав металлической части шихты: 5 % C; 2,62 % Si; 1,08 % Mn; 0,3 % P; 0,06 % S; 92,89 % Fe – по разности.

4) Состав кокса (по техническому анализу): 3,0 % влаги; 13,4 % золы; 1,0 % серы общей; 1,0 % летучих.

5) Химический состав золы кокса: 54,0 % SiO<sub>2</sub>; 27,0 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 3,0 % CaO; 11,4 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 1,2 % MgO; 1,1 %; 0,3 %; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 2,0 % SO<sub>3</sub>.

Вес минеральных веществ кокса, считая в них и серу, принимаем меньше веса золы и серы, поскольку при определении золы происходит окисление FeS до Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и SO<sub>3</sub>.

На основе анализа известняка и данных о его расходе заполняется колонка табл. 29.

6) Химический состав выплавленного чугуна: 3,3 % C; 2,25 % Si; 0,6 % Mn; 0,30 % P; 0,10 % S; 93,31 % Fe (по разности).

7) Состав газов: 12,0 % CO<sub>2</sub>; 15,0 % CO; 0,6 % O<sub>2</sub> и 75,4 % других газов (по разности).

8) Влаг в воздухе – 10 г на 1 м<sup>3</sup> сухого воздуха.

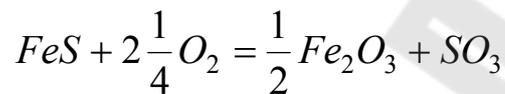
9) Анализ ваграночного шлака показал: 42,58 % SiO<sub>2</sub>; 10,04 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 31,75 % CaO; 2,86 % MnO; 0,26 % MgO; 11,85 % FeO; 0,50 % FeS; 0,16 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

## 2. Расчет материального баланса вагранки

1) Расчет химического состава кокса производится на основе предварительно проведенного технического анализа кокса, анализа золы и летучих, содержащихся в нём. При этом необходимо учесть, что сера в коксе находится обычно в виде органической, сульфидной (главным образом FeS) и сульфатной (главным образом CaSO<sub>4</sub>) серы.

При определении золы сжиганием органическая сера сгорает вся в SO<sub>3</sub>.

Сернистое железо при сжигании дает улетучивающийся газ (SO<sub>3</sub>) и окись железа (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) по реакции:



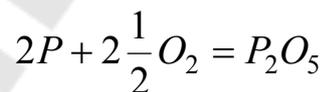
(88 част + 72 част = 80 част + 80 част).

Сульфатная сера при сжигании диссоциирует по реакции:



(136 част = 56 част + 80 част).

Фосфор в процессе определения золы сгорает по реакции:



(62 част + 80 част = 142 част).

Произведем расчет термического состава кокса, содержащего 1,3% общей серы.

|  |          |
|--|----------|
| H <sub>2</sub> O   | =3.000%  |
| SiO <sub>2</sub> =0.54*13.4                                      | =7.236%  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =0.27*13.4                        | =3.618%  |
| CaO=0.03*13.4  | =0.402%  |
| FeS=0.114*(88/80)*13.4   | =1.680%  |
| SO <sub>3</sub> =0.02*13.4                                       | =0.268%  |
| $S = 1.3 - \frac{1.68 \cdot 32}{88} - \frac{0.268 \cdot 32}{80}$ | = 0.582% |

$$\begin{aligned}
\text{MgO} &= 0.012 * 13.4 & = 0.161\% \\
\text{MnO} &= 0.011 * 13.4 & = 0.143\% \\
\text{P} &= 0.003 * (62/142) * 13.4 & = 0.018\% \\
\text{CO}_2 &= 0.35 * 1.4 & = 0.490\% \\
\text{CO} &= 0.37 * 1.4 & = 0.518\% \\
\text{CH}_4 &= 0.04 * 1.4 & = 0.056\% \\
\text{H}_2 &= 0.06 * 1.4 & = 0.084\% \\
\text{N}_2 &= 0.18 * 1.4 & = 0.252\% \\
\text{C (по разности)} & & = 81.492\%
\end{aligned}$$

Общее количество серы распределяется следующим образом на ее отдельные виды:

| Вид серы     | S в кг | S в %  |
|--------------|--------|--------|
| Сульфидная   | 0,611  | 47,00  |
| Сульфатная   | 0,107  | 8,25   |
| Органическая | 0,582  | 44,75  |
| Общая        | 1,300  | 100,00 |

Полученные приведенным выше расчетом данные о составе кокса, с учетом его расхода 10% от металлозавалки занесены в колонку 3 табл. 29.

## 2) Расчет количества шлака.

CaO вводится в вагранку только с известняком и с золой кокса и весь поступает в шлак. Следовательно,

$$a \text{CaO}_{\text{изв}} + б \text{CaO}_{\text{кокс}} = x \text{CaO}_{\text{шлак}},$$

где а и б – количество известняка и кокса на 100 кг металлической шихты;

x – искомое количество шлака;

CaO<sub>изв</sub>, б CaO<sub>кокс</sub>, x CaO<sub>шлак</sub> – проценты CaO в известняке, коксе и шлаке.

$$x = \frac{a \text{CaO}_{\text{изв}} + б \text{CaO}_{\text{кокс}}}{\text{CaO}_{\text{шлак}}}$$

Подставив значения известных величин, получим:

$$x = \frac{3.5 * 54.1 + 10 * 0.402}{31.75} = 6.0898 \text{ кг}$$

На основании анализа шлака определим весовой состав шлака в кг.

$$\begin{aligned}\text{SiO}_2 &= 0.4258 * 6.0898 = 7.236\% \\ \text{Al}_2\text{O}_3 &= 0,1004 * 6.0898 = 3.618\% \\ \text{CaO} &= 0.3175 * 6.0898 = 0.402\% \\ \text{MgO} &= 0.026 * 6.0898 = 0.161\% \\ \text{MnO} &= 0.0286 * 6.0898 = 0.143\% \\ \text{FeO} &= 0.1185 * 6.0898 = 0.161\% \\ \text{FeS} &= 0.0050 * 6.0898 = 1.680\% \\ \text{Fe}_2\text{O}_5 &= 0,0016 * 6.0898 = 3.618\%\end{aligned}$$

---

6.0898 кг

Полученное количество занесем в колонку 13 табл. 29.

3) Расчет количества песка и глины, вносимых с шихтой и в результате оплавления футеровки.

SiO<sub>2</sub> поступает:

а) в итоге окисления Si чугуна

$$\frac{(2.62 - 2.25) * 60 * 0.98}{28} = 0.7771 \text{ кг}$$

б) из кокса:

$$\frac{7,236 * 10}{100} = 0.7236 \text{ кг}$$

в) из известняка:

$$\frac{1 * 3,5}{100} = 0,0350 \text{ кг}$$

---

Всего: 1,5357 кг

Вносится с песком и футеровкой – по разности:

$$2,6385 - 1,5357 = 1,1028 \text{ кг}$$

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> поступает:

а) из кокса:

$$\frac{3.618 * 10}{100} = 0.3618 \text{ кг}$$

б) из известняка:

$$\frac{1.1 * 3,5}{100} = 0,0385 \text{ кг}$$

---

Всего: 0,4003 кг

Вносится с песком и футеровкой – по разности:

$$0,6118-0,4003=0,2115\text{кг}$$

Соотношение количества материалов, вносимых песком, приставшим к шихте, и футеровкой, не трудно определить, воспользовавшись различным соотношением  $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$  в этих материалах. Скрап, литники и т.п. вносят песок, в котором соотношение это приблизительно равно  $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3=85:15$ .

То же соотношение для футеровки соответствует  $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3=65:35$ .

Обозначив количество материалов, поступающих с песком из шихты через  $x$  и вносимых оплавленной футеровкой через  $y$ , можно написать уравнение для  $\text{SiO}_2$  в виде  $0,85x+0,65y=1,1028$  и для  $\text{Al}_2\text{O}_3$   $0,15x+0,35y=0,2115$ .

Решение этих двух уравнений дает  $x=1,100$  и  $y=0,13$ .

Следовательно, с шихтой вносится:

$$\text{SiO}_2=1,1*0,85=0,935\text{кг}$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3=1,1*0,15=0,165\text{кг}$$

---

Всего: 1,100 кг

Из футеровки поступает:

$$\text{SiO}_2=0,13*0,65=0,0845\text{кг}$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3=1,13*0,35=0,0455\text{кг}$$

---

Всего: 0,1300 кг

Данные о количестве песка и глины, вносимых шихтой, включены в колонку 2, а футеровкой в колонку 5 табл. 29.

4) расчет количества металла.

100 кг металлической шихты вносят в вагранку 1,1 кг песка, 0,1 кг  $\text{FeO}$ , а всего - 1,2 кг. В этом случае металла вводится 98,8 кг. Количества отдельных элементов Fe, Si, Mn, S, P, и C, вносимых в вагранку, согласно химическому составу шихты, с учетом этой поправки представлены в колонке 2 табл. 29.

$$\frac{0,6755 * 56}{72} + \frac{0,0302 * 56}{88} = 0,5246\text{кг}$$

В шлак вносится железа:

из кокса:

$$\frac{0,168 * 56}{88} = 0,1069\text{кг}$$

из известняка:

$$\frac{0.1007 * 56}{88} + \frac{0.0315 * 112}{160} = 0,0264 \text{ кг}$$

из окислов шихты

$$\frac{0.100 * 56}{72} = 0.0778 \text{ кг}$$

Всего в шлак переходит железа  $0,1069 + 0,0264 + 0,0778 = 0,2111$  кг.

Окислено железа из металла  $0,5246 - 0,2111 = 0,3135$  кг (колонка 9 табл. 29).

Из 100 кг металлической шихты вносится железа в чугун  $91,7773 - 0,3135 = 91,4638$  кг

В 100 кг чугуна содержится Fe=93,31 кг, следовательно, выход жидкого металла из 100 кг шихты составит  $\frac{91.4638 * 100}{93.3100} = 98\%$ .

Количество кремния, марганца, серы, фосфора и углерода в готовом металле определяется химическим анализом с учетом 98% выхода годного (см. колонку 8 и 12 табл.29).

Остальная часть Fe, Si, Mn и P переходит в шлак (колонка 9 табл. 29), а углерод и газ (колонка 10 табл. 29).

5) Расчет количества и состава газов.

1 м<sup>3</sup> газа содержит углерода согласно анализу:

$$\frac{(16.0 + 8.0) * 12}{22.4 * 100} = 0.1285 \text{ кг}$$

На 100 кг шихты углерода вносится:

из кокса:

$$8.1492 \text{ кг}$$

из летучих кокса:

$$\left( \frac{0.049}{44} + \frac{0.0518}{28} \right) * 12 = 0.0355 \text{ кг}$$

из CO<sub>2</sub> известняка:

$$\frac{1.4665 * 12}{44} = 0.4000 \text{ кг}$$

из металла

$$3,2900 \text{ кг}$$

---

Всего: 11,8747 кг

Переходит в металл 3,2928 кг

Поступает в газ 8,5819 кг

Следовательно, на 100 кг шихты получится  $8,5819 / 0,1285 = 66,7853$  м<sup>3</sup> газов.

Кроме указанных в анализе CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> в ваграночном

газе содержатся также  $H_2$ ,  $H_2O$ ,  $SO_3$  и  $CH_4$ . Рассчитаем их количество.

1. Водород вносится летучими парами кокса и поступает в результате разложения влаги вдуваемого воздуха.

Количество воздуха вдуваемого в газ:

$$\text{а) из влаги вдуваемого воздуха} \\ \frac{0,008 \cdot 22,4 \cdot 0,5}{18} \cdot 66,7853 = 0,374 \text{ м}^3$$

$$\text{б) из кокса} \\ \frac{0,0084}{2} \cdot 22,4 = 0,094 \text{ м}^3$$

---

Всего:  $H_2 = 0,468 \text{ м}^3$

или  $\frac{0,46 \cdot 2}{22,4} \cdot 22,4 = 0,0418 \text{ кг}$  (колонка 14 табл. 29).

2. Количество серы, перешедшей в газ, определяется по разности между общим содержанием серы в шихте и ее количеством, перешедшим в шлак в виде  $FeS$  и в металл.

Сера поступает в вагранку:

$$\text{а) из металла} \quad 0,0593 \text{ кг}$$

$$\text{б) из кокса} \quad 0,0582 + \frac{0,168 \cdot 32}{88} + \frac{0,0268 \cdot 32}{80} = 0,1300 \text{ кг}$$

$$\text{в) из известняка} \quad 0,0070 \frac{32}{88} = 0,0025 \text{ кг}$$

---

Всего:  $0,1918$

Из этого количества серы уходит в металл  $0,0980 \text{ кг}$  и в шлак  $0,0302 \frac{32}{88} = 0,0110 \text{ кг}$ . Следовательно, в газ перейдет  $0,1918 - 0,0980 - 0,0110 = 0,0828 \text{ кг}$  серы.

Количество  $SO_3$  в газе будет:

$$\frac{0,0828 \cdot 80}{32} = 0,2070 \text{ кг или } \frac{0,2070 \cdot 22,4}{80} = 0,0580 \text{ м}^3.$$

Баланс серы

| Поступило:    |                    | Перешло: |                   |
|---------------|--------------------|----------|-------------------|
| С шихтой      | 0,0593 кг – 30,7 % | В металл | 0,0980 кг – 51,0% |
| С коксом      | 0,1300 кг – 68,0%  | В шлак   | 0,0110 кг – 5,7%  |
| С известняком | 0,0025 кг – 1,3%   | В газ    | 0,0828 кг – 43,3% |

---

Всего:  $0,1918 \text{ кг} - 100\%$

---

Всего:  $0,1918 \text{ кг} - 100\%$

3.  $\text{CH}_4$  поступает в газ из кокса в количестве  
 $\frac{0,056 \cdot 10}{100} = 0,0056$  кг или  $\frac{0,0056 \cdot 22,4}{16} = 0,0081$  м<sup>3</sup>.

4. В итоге получим полный состав газа:

|                                      | м <sup>3</sup> | кг       | Объемный процент % |
|--------------------------------------|----------------|----------|--------------------|
| $\text{CO}_2 - 66,7853 \cdot 0,16 =$ | 10,6856        | 20,8793  | 16,0               |
| $\text{CO} - 66,7853 \cdot 0,08 =$   | 5,3428         | 6,5780   | 8,0                |
| $\text{O}_2 - 66,7853 \cdot 0,006 =$ | 0,4007         | 0,5724   | 0,60               |
| $\text{H}_2 -$                       | 0,4680         | 0,0418   | 0,70               |
| $\text{SO}_2 -$                      | 0,0580         | 0,2070   | 0,09               |
| $\text{CH}_4 -$                      | 0,0081         | 0,0056   | 0,01               |
| $\text{N}_2$ (по разности) –         | 49,8221        | 62,27776 | 74,60              |
|                                      | 66,7853        | 90,5617  | 100,00             |

5. Расчет количества вдуваемого воздуха

Всего азота поступает в газ 49,8221 м<sup>3</sup>;  
 в том числе из кокса 0,0252 кг или 0,0202 м<sup>3</sup>;  
 в том числе из воздуха 49,8019 м<sup>3</sup>.

Принимая состав сухого воздуха равным  $\text{O}_2$  20,9% и  $\text{N}_2$  79,1%, количество потребного воздуха на 100 кг шихты составит

$$\frac{49,8019 \cdot 100}{79,1} = 62,9607 \text{ м}^3.$$

Таким образом, в воздухе содержится

$$\text{O}_2 = 62,9607 \cdot 0,209 = 13,1588 \text{ м}^3 \text{ или } 18,7968 \text{ кг}$$

$$\text{N}_2 = 62,9607 \cdot 0,791 = 49,8019 \text{ м}^3 \text{ или } 62,2524 \text{ кг}$$

Воздух вносит

$$62,9607 \cdot 0,009 = 0,5667 \text{ кг или } 0,7050 \text{ м}^3 \text{ влаги.}$$

Из этого количества влаги, как ранее было определено, разлагается 0,3740 м<sup>3</sup> с образованием 0,3740 м<sup>3</sup>  $\text{H}_2$  и 0,1810 м<sup>3</sup>  $\text{O}_2$ , остаток влаги в количестве 0,7050 - 0,3740 = 0,3370 м<sup>3</sup> или 0,2664 кг поступает в газ.

Всего в газ поступит влаги из кокса, известняка и воздуха:

$$0,3000 + 0,0280 + 0,2664 = 0,5944 \text{ кг или } 0,7392 \text{ м}^3.$$

Общий вес газа составит 90,5617 + 0,5944 = 91,1561 кг.

Баланс кислорода

Приход:

из воздуха 13,1588 м<sup>3</sup> или 18,7968 кг

из влаги воздуха 0,1870 м<sup>3</sup> или 0,2620 кг

из СО<sub>2</sub> известняка и кокса

$$\frac{(1,4665 + 0,049)}{44} \cdot 22,4 = 0,7717 \text{ м}^3 \text{ или } 1,0766 \text{ кг}$$

из СО кокса

$$\frac{0,0518}{28} \cdot 22,4 \cdot 0,5 = 0,0205 \text{ м}^3 \text{ или } 0,0296 \text{ кг}$$

из Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> известняка

$$\frac{0,0315 \cdot 48 \cdot 22,4}{160 \cdot 32} = 0,0061 \text{ м}^3 \text{ или } 0,0087 \text{ кг}$$

---

Всего: 14,141441 м<sup>3</sup> или 20,1737 кг

Расход :

Перейти в газ:

10,6856 + 0,5 · 5,3428 + 0,4007 = 13,7143 м<sup>3</sup> или 19,5588 кг;

то же, шлак на окисление элементов:

$$Fe - \frac{(0,3135 + 0,0315 + 0,1276) \cdot 22,4}{56 \cdot 2} = 0,0894 \text{ м}^3 \text{ или } 0,1274 \text{ кг}$$

$$Mn - \frac{0,124 \cdot 22,4}{55 \cdot 2} = 0,0253 \text{ м}^3 \text{ или } 0,0331 \text{ кг}$$

$$Si - \frac{0,4016 \cdot 22,4}{28} = 0,3113 \text{ м}^3 \text{ или } 0,4490 \text{ кг}$$

$$P - \frac{0,0042 \cdot 5 \cdot 22,4}{31 \cdot 2 \cdot 2} = 0,0038 \text{ м}^3 \text{ или } 0,0054 \text{ кг}$$

---

Всего на окисление: 0,4298 м<sup>3</sup> или 0,6149 кг

Всего в газ и шлак перейдет: 14,1441 м<sup>3</sup> или 20,1737 кг.

### 3. СВОДНЫЙ МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС ВАГРАНКИ (на 100 кг металлозавалки)

#### А. Поступает в вагранку

|   |                       |           |
|---|-----------------------|-----------|
| 1 | Металла               | 100,00 кг |
| 2 | Кокса                 | 10,00 кг  |
| 3 | Известняка            | 3,50 кг   |
| 4 | Оплавленной футеровки | 0,13 кг   |
| 5 | Воздуха               | 81,62 кг  |

---

Итого: 195,25 кг

#### Б. Получено из вагранки

|   |        |          |
|---|--------|----------|
| 1 | Чугуна | 98,00 кг |
| 2 | Шлака  | 6,09 кг  |
| 3 | Газа   | 91,16 кг |

---

Итого: 195,25 кг

Все результаты расчета сведены в табл. 29.

#### 4. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА

1. Данные материального баланса (см. табл. 29)
2. Температура жидкого чугуна - 1400°
3. Температура шлака - 1450°
4. Температура колошниковых газов - 500°

Все данные о теплотах образования и величины теплосодержания взяты по М.А. Павлову [43].

#### 5. РАСЧЕТ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА (на 100 кг металлозавалки)

|  |            |
|--|------------|
| Всего в газах содержится CO <sub>2</sub> | 20,8797 кг |
| Из них вносится коксом и известняком     | 1,5155 кг  |
| <hr/>                                    |            |
| Образуется в результате горения кокса    | 19,3642 кг |

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| Всего в газах содержится CO           | 6,5780 кг |
| Из них вносится коксом                | 0,0518 кг |
| <hr/>                                 |           |
| Образуется в результате горения кокса | 6,5262 кг |
| Содержится углерода:                  |           |

$$\text{в CO}_2 \frac{19,3642 \cdot 12}{44} = 5,2812 \text{ кг}$$

$$\text{в CO} \frac{6,5262 \cdot 12}{28} = 2,7972 \text{ кг}$$

---

ВСЕГО сгоревшего углерода: 8,0784 кг

Приход тепла

1. Теплотворная способность углерода  
 $8,0784 \cdot 8137 = 65733$  ккал – 93,95%

2. Окисление элементов:

$$0,4411 \text{ кг Fe} = \frac{0,4411}{56} \cdot 64430 = 565 \text{ ккал}$$

$$0,4016 \text{ кг Si} = \frac{0,4016}{28} \cdot 207850 = 2965 \text{ ккал}$$

$$0,1240 \text{ кг Mn} = \frac{0,1240}{55} \cdot 96720 = 215 \text{ ккал}$$

$$0,0042 \text{ кг P} = \frac{0,0042}{31} \cdot 37000 = 49 \text{ ккал}$$

---

Всего 3734 ккал – 5,35%

### 3. Шлакообразование

$$6,0898 \cdot 80 = 487 \text{ ккал} - 0,7\%$$

---

Итого 69951 ккал – 100%

#### Расход тепла

1. Нагрев чугуна до  $1400^\circ = 98,0 \cdot 305 = 29890$  ккал 42,8%

2. Нагрев шлака до  $1450^\circ = 6,0898 \cdot 420 = 2558$  ккал 3,7%

3. Нагрев колошниковых газов до  $500^\circ$ :

$$\text{CO}_2 + \text{SO}_2 = 10,7436 \cdot 238,7 = 2559 \text{ ккал}$$

$$\text{CO} + \text{O}_2 + \text{N}_2 = (5,3428 + 0,4007 + 49,8221) \cdot 160,5 = 8938 \text{ ккал}$$

$$\text{H}_2 = 0,468 \cdot 155,55 = 73 \text{ ккал}$$

$$\text{CH}_4 = 0,008 \cdot 266,80 = 2 \text{ ккал}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 0,7392 \cdot 189,76 = 140 \text{ ккал}$$

---

Всего: 11712 ккал – 16,5%

4. Неполнота горения углерода

$$2,7972 \cdot 5640 = 15775 \text{ ккал} - 22,6\%$$

5. Теплота испарения влаги

$$0,328 \cdot 595 = 195 \text{ ккал} - 0,3\%$$

6. Разложение  $\text{CaCO}_3$

$$1,4665 \cdot 966 = 1422 \text{ ккал} - 2,0\%$$

7. Разложение  $\text{H}_2\text{O}$

$$\frac{0,374}{22,4} \cdot 18 \cdot 3212 = 963 \text{ ккал} - 1,4\%$$

8. Потери на лучеиспускание и пр. (по разности)

$$7439 \text{ ккал} - 10,7\%$$

---

Итого: 69954 ккал – 100%

## 6. СВОДНЫЙ ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ВАГРАНКИ (на 100 кг металлозавалки)

### Приход тепла

1. Теплотворная способность топлива 65733 ккал – 93,95%
2. Теплота окисления элементов 3734 ккал – 5,35%
3. Теплота шлакообразования 487 ккал – 0,70%

---

Итого : 69954 ккал – 100%

### Расход тепла

|      |  |             |            |
|------|--|-------------|------------|
| 1.   | Нагрев чугуна                          | 29 890 ккал | 42,8%      |
| 2.   | Нагрев шлака                           | 2558 ккал   | 3,7%       |
| 3.   | Нагрев колошниковых газов              | 11712 ккал  | 16,5%      |
| 4.   | Неполнота горения                      | 15775 ккал  | 22,6%      |
| 5.   | Теплота испарения влаги                | 195 ккал    | 0,3%       |
| 6.   | Разложение известняка                  | 1422 ккал   | 2,0%       |
| 7.   | Разложение влаги                       | 963 ккал    | 1,4%       |
| 8.   | Потери на лучеиспускание (по разности) | 7439 ккал   | 10,7%      |
|      | ИТОГО:                                 |             | 69954 ккал |
| 100% |  |             |            |

| Материальный баланс ваграночной плавки (в кг на 100 кг металлозавалки) |                         |        |            |           |                    |         |           |        |         |         |            |        |         |         |
|--|-------------------------|--------|------------|-----------|--------------------|---------|-----------|--------|---------|---------|------------|--------|---------|---------|
| Обозначение  | Поступило в вагранку из |        |            |           |                    |         | Перешло в |        |         |         | Получено в |        |         |         |
|  | металлической шихты     | кокса  | известняка | футеровки | вдуваемого воздуха | всего   | чугун     | шлак   | газ     | всего   | чугуне     | шлаке  | газе    | всего   |
| 1  | 2                       | 3      | 4          | 5         | 6                  | 7       | 8         | 9      | 10      | 11      | 12         | 13     | 14      | 15      |
| Fe   | 91,7773                 | -      | -          | -         | -                  | 91,7773 | 91,464    | 0,3135 | -       | 91,4638 | 91,4638    | -      | -       | 91,4638 |
| Si   | 2,5866                  | -      | -          | -         | -                  | 2,5866  | 2,1850    | 0,4016 | -       | 2,5866  | 2,1850     | -      | -       | 2,1850  |
| Mn   | 0,7904                  | -      | -          | -         | -                  | 0,7904  | 0,6664    | 0,1240 | -       | 0,7904  | 0,6684     | -      | -       | 0,6664  |
| S  | 0,0593                  | 0,0582 | -          | -         | -                  | 0,1175  | 0,0980    | 0,0195 | -       | 0,1175  | 0,0980     | -      | -       | 0,0980  |
| P  | 0,2964                  | 0,0018 | -          | -         | -                  | 0,2982  | 0,2940    | 0,0042 | -       | 0,2982  | 0,2940     | -      | -       | 0,2940  |
|  |                         |        |            |           |                    |         |           |        |         |         |            |        |         |         |
| C  | 3,2900                  | 8,1492 | -          | -         | -                  | 11,4392 | 3,2928    | -      | 8,1464  | 11,4392 | 3,2928     | -      | -       | 3,2928  |
| CO   | -                       | 0,0518 | -          | -         | -                  | 0,0518  | -         | -      | 0,0518  | 0,0518  | -          | -      | 6,5780  | 6,5780  |
| CO2  | -                       | 0,0490 | 1,4665     | -         | -                  | 1,5155  | -         | -      | 1,5155  | 1,5155  | -          | -      | 20,8793 | 20,8723 |
| N2   | -                       | 0,0252 | -          | -         | 62,2524            | 62,2776 | -         | -      | 62,2776 | 62,2776 | -          | -      | 62,2776 | 62,2776 |
| O2   | -                       | -      | -          | -         | 18,7968            | 18,7968 | -         | -      | 18,182  | 18,7968 | -          | -      | 0,5724  | 6,5724  |
|  |                         |        |            |           |                    |         |           |        |         |         |            |        |         |         |
| H2   | -                       | 0,0084 | -          | -         | -                  | 0,0084  | -         | -      | 0,0084  | 0,0084  | -          | -      | 0,0418  | 0,0418  |
| H2O  | -                       | 0,3000 | 0,0280     | -         | 0,5767             | 0,8947  | -         | -      | 0,8947  | 0,8947  | -          | -      | 0,5944  | 0,5944  |
| CH4  | -                       | 0,0056 | -          | -         | -                  | 0,0056  | -         | -      | 0,0056  | 0,0056  | -          | -      | 0,0056  | 0,0056  |
| FeO  | 0,1000                  | -      | -          | -         | -                  | 0,1000  | -         | 0,1000 | -       | 0,1000  | -          | 0,6755 | -       | 0,6755  |
| Fe2O3  | -                       | -      | 0,0315     | -         | -                  | 0,0315  | -         | 0,0315 | -       | 0,0315  | -          | -      | -       | -       |
|  |                         |        |            |           |                    |         |           |        |         |         |            |        |         |         |

|                                |         |        |        |        |         |          |        |        |        |          |         |        |         |          |
|--------------------------------|---------|--------|--------|--------|---------|----------|--------|--------|--------|----------|---------|--------|---------|----------|
| SiO <sub>2</sub>               | 0,9350  | 0,7236 | 0,0350 | 0,0845 | -       | 1,7781   | -      | 1,7781 | -      | 1,7781   | -       | 2,6385 | -       | 2,6385   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,1650  | 0,3618 | 0,0385 | 0,0455 | -       | 0,6118   | -      | 0,6118 | -      | 0,6118   | -       | 0,6118 | -       | 0,6118   |
| CaO                            | -       | 0,0402 | 1,8935 | -      | -       | 1,9337   | -      | 1,9337 | -      | 1,9337   | -       | 1,0887 | -       | 1,9337   |
| MgO                            | -       | 0,0161 | -      | -      | -       | 0,0161   | -      | 0,0161 | -      | 0,0161   | -       | 0,0161 | -       | 0,0161   |
| MnO                            | -       | 0,0143 | -      | -      | -       | 0,0143   | -      | 0,0143 | -      | 0,0143   | -       | -      | -       | 0,1744   |
|                                |         |        |        |        |         |          |        |        |        |          |         |        |         |          |
| FeS                            | -       | 0,1680 | 0,0070 | -      | -       | 0,1750   | -      | 0,1276 | 0,0474 | 0,1759   | -       | 0,0302 | -       | 0,0302   |
| SO <sub>3</sub>                | -       | 0,0268 | -      | -      | -       | 0,0268   | -      | -      | 0,0268 | 0,0268   | -       | -      | 0,2070  | 0,2070   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | -       | -      | -      | -      | -       | -        | -      | -      | -      | -        | -       | 0,0095 | -       | 0,009    |
|                                | 100,000 | 10,000 | 3,5000 | 0,1300 | 81,6259 | 195,2469 | 98,000 | 6,0898 | 91,156 | 195,2459 | 98,0000 | 6,0898 | 91,1561 | 195,2459 |

**Ровин Леонид Ефимович**

## **ПЕЧИ ЛИТЕЙНЫХ ЦЕХОВ**

**Методические указания  
к курсовым работам  
для студентов специальности 1-36 02 01  
«Машины и технология литейного производства»  
дневной формы обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 12.01.10

Пер. № 109Е.

E-mail: [ic@gstu.by](mailto:ic@gstu.by)

<http://www.gstu.by>