

№ 1706

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ СТАЛИ и СПЛАВОВ  
Технологический университет

**МИСиС**



Кафедра теплофизики и экологии металлургического производства

**В.Л. Гусовский, А.Е. Лифшиц**

## **ТЕПЛОТЕХНИКА**

*Тепловой расчет печей непрерывного действия*

**Учебно-методическое пособие**

для студентов всех специальностей направления «Металлургия»

*Под редакцией В.А. Кривандина*

Рекомендовано редакционно-издательским  
советом института

МОСКВА 2002

УДК 669.04:001.24

Г96

**Гусовский В.Л., Лифшиц А.Е.**

Г96      Теплотехника: Тепловой расчет печей непрерывного действия: Учеб.-метод. пособие / Под ред. В.А. Кривандина. – М.: МИСиС, 2002. – 85 с.

Изложены основные положения расчета теплообмена в нагревательных и термических печах непрерывного действия. Приведены общая характеристика печей, технологические требования по температурам и режимам нагрева и охлаждения металла, средства и способы их осуществления.

Рассмотрена методика выбора температур средств нагрева и охлаждения, размеров рабочего пространства, расчетных участков и схем нагрева и охлаждения.

Дана последовательность расчета нагрева и охлаждения металла, определения длины полезного пода, тепловой мощности печи и расхода топлива, параметров средств охлаждения и других характеристик печи. Приведены примеры расчета нагревательной толкательной печи и термической печи с роликовым подом.

Может быть использовано при курсовом и дипломном проектировании.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Основные положения расчета печей .....	4
2. Расчет печей непрерывного действия .....	7
3. Расчет нагревательных печей непрерывного действия .....	9
3.1. Назначение и общая характеристика нагревательных печей.....	9
3.2. Температура нагрева металла .....	10
3.3. Режимы нагрева металла.....	10
3.4. Температуры газов и кладки .....	11
3.5. Поперечные размеры рабочего пространства .....	13
3.6. Теплообмен в рабочем пространстве непрерывной нагревательной печи .....	14
3.7. Выбор расчетных участков .....	14
3.8. Расчетная схема нагрева металла .....	15
3.9. Последовательность расчета нагрева металла .....	16
3.10. Расчетная часовая производительность и садка печи .....	18
3.11. Длина полезного пода печи .....	19
3.12. Длина габаритного пода, площадь и напряжение пода печи.....	22
3.13. Тепловая мощность печи, расход топлива и удельный расход тепла.....	23
3.14. Пример расчета нагревательной толкательной печи.....	24
4. Расчет термических печей непрерывного действия .....	58
4.1. Характеристика термических печей непрерывного действия .....	58
4.2. Температуры и режимы термообработки в термических печах .....	58
4.3. Особенности расчета нагрева и охлаждения металла в термических печах непрерывного действия.....	59
4.4. Длина полезного пода печи .....	60
4.5. Тепловой баланс термических печей непрерывного действия .....	62
4.6. Особенности расчета различных типов термических печей непрерывного действия .....	64
4.7. Пример расчета термической печи с роликовым подом.....	67
Библиографический список .....	84

# 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТА ПЕЧЕЙ

Нагревательные и термические печи являются теплотехническими агрегатами, предназначенными для осуществления определенного технологического процесса. Основная теплотехническая задача таких печей – передать тепло нагреваемому металлу или отнять тепло у нагретого металла в соответствии с технологией его нагрева или термической обработки. Таким образом, определяющим процессом для печного агрегата является теплоотдача металлу или от металла (далее – металлу), и именно расчет теплоотдачи есть основа расчета нагревательной или термической печи.

Теплоотдача металлу в печах происходит излучением и конвекцией, а распространение тепла внутри металла – теплопроводностью. Основные законы, описывающие эти виды теплообмена, а также методики определения коэффициентов теплоотдачи рассмотрены в [1].

Основной расчет теплоотдачи металлу дает возможность найти необходимые размеры рабочего пространства и производительность печи, а также теплотехнические характеристики средств нагрева или охлаждения. Для определения других параметров печи необходим ряд дополнительных расчетов: тепловых, гидравлических, механических, прочностных и т.д. Методика расчетов сгорания топлива и гидравлических расчетов трасс также приведена в [1], а расчеты теплового баланса и расходов топлива, выбор и расчет горелочных устройств и рекуператоров – в [2].

Расчеты, необходимые для разработки механического оборудования и систем автоматизации печей, металлических и железобетонных конструкций и др., должны выполняться с использованием справочной литературы по соответствующим отраслям техники с учетом специфики службы этих устройств и конструкций в условиях печных агрегатов.

Основные технологические требования для нагревательных печей состоят в нагреве до заданной температуры поверхности и достижении заданного перепада температур по сечению. Процесс нагрева может иметь некоторые ограничения (например, заданная скорость нагрева, максимальный перепад по сечению во время нагрева и др.).

Для термических печей основные технологические требования состоят в обеспечении нагрева с ограничениями или без ограни-

чений, выдержке при заданной температуре и охлаждении с заданной или максимальной скоростью. Для осуществления заданной технологии применяют различные средства нагрева и охлаждения. Основные из них показаны в табл. 1.1 в зависимости от того, в какой атмосфере происходит нагрев или охлаждение. В этой же таблице для каждого средства нагрева и охлаждения указаны способы, с помощью которых можно влиять на их характеристику (температуру, тепловую мощность) и тем самым регулировать интенсивность нагрева или охлаждения.

Таблица 1.1

Основные средства нагрева и охлаждения металла  
и способы управления ими

Вид процесса	Средство нагрева или охлаждения	Способ управления
<i>В атмосфере продуктов сгорания или воздуха</i>		
Нагрев	Продуктами сгорания	Регулированием подачи и сжигания топлива во времени и пространстве
Охлаждение	На воздухе	Не регулируется
	В воде	Не регулируется
	Душированием водой	Количеством воды
	Струями воздуха	Скоростью струй и геометрией струйной системы
	Водовоздушной смесью	Скоростью смеси и количеством воды
<i>В защитной атмосфере</i>		
Нагрев	Радиационными трубами	Расположением и размерами труб, подачей топлива в трубы
	Электронагревателями	Расположением и размерами нагревателей, напряжением тока
Охлаждение	В камере с тонкой футеровкой	Материалом и толщиной футеровки
	Воздухоохлаждаемыми трубами	Расположением и диаметром труб, скоростью воздуха в трубах
	Водоохлаждаемыми стенками или кессонами	Не регулируется
	Струями защитной атмосферы	Скоростью струй и геометрией струйной системы

При расчете печи могут возникать три основные задачи:

1. *Заданы* начальное и конечное температурное состояние металла, а также условия теплообмена.

*Требуется определить* продолжительность тепловой обработки.

Такая задача возникает, когда задана технология нерегламентированного нагрева или охлаждения, а нужно определить размеры печного агрегата.

2. *Заданы* начальное и конечное температурное состояние металла, а также продолжительность тепловой обработки.

*Требуется определить* условия теплообмена.

Такая задача возникает, когда задана технология регламентированного нагрева или охлаждения, а нужно выбрать средства нагрева или охлаждения и определить их характеристику.

3. *Заданы* начальное температурное состояние металла, условия теплообмена и продолжительность тепловой обработки.

*Требуется определить* конечное температурное состояние металла.

Такая задача возникает при расчете нагрева или охлаждения металла в отдельных зонах печи или на расчетных участках.

Взаимосвязи между заданными и определяемыми величинами, входящими в расчетные уравнения, чрезвычайно сложны, и ни одну из них определить из этих уравнений в явном виде не удастся. Поэтому для решения любой из вышеперечисленных задач применяют *метод последовательных приближений*: неизвестными величинами (в первой задаче – продолжительностью тепловой обработки, во второй задаче – условиями теплообмена, в третьей задаче – конечным температурным состоянием металла) предварительно задаются, а затем проверяют их расчетом.

## 2. РАСЧЕТ ПЕЧЕЙ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Расчет теплообмена в печах непрерывного действия выполняют для стационарного теплового состояния. Для расчета теплоотдачи металлу в печах непрерывного действия изменение температуры по длине печи представляют как изменение температуры во времени по мере продвижения металла через печь.

Так как решение уравнения теплопроводности принципиально различно для теплотехнически тонких и теплотехнически массивных тел, то следует прежде всего определить степень массивности тела, подвергающегося тепловой обработке, по методике, изложенной в п. 3 [1].

Для расчета теплоотдачи наиболее подходящими являются граничные условия третьего рода, когда задана температура средства нагрева или охлаждения и закон теплообмена между ним и поверхностью металла. Аналитические решения уравнения теплопроводности при граничных условиях третьего рода получены для тел простой формы (пластина, цилиндр) при постоянных коэффициенты теплоотдачи и теплофизических свойствах тела в случаях, указанных в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Случаи, для которых получены аналитические решения уравнения теплопроводности при граничных условиях третьего рода

Массивность тела	Закон теплоотдачи на поверхность тела	Температура средства нагрева или охлаждения	Начальная температура тела
Теплотехнически тонкое тело	Лучистый	Постоянная	Равномерная
	Конвективный		
	Смешанный		
Теплотехнически массивное тело	Конвективный	Постоянная	Равномерная
			Распределенная по параболическому закону
		Линейно меняющаяся во времени	Равномерная
			Распределенная по параболическому закону

Исходя из условий, для которых получены аналитические решения и построены графики [1], перед проведением расчетов необходимо следующее:

- представить нагреваемый или охлаждаемый металл как тело простой формы: пластину, цилиндр или их пересечение;
- представить температуру средств нагрева или охлаждения как постоянную или линейно меняющуюся во времени;
- определить и усреднить теплофизические свойства нагреваемого или охлаждаемого металла;
- определить коэффициенты теплоотдачи для соответствующего закона теплообмена (для теплотехнически тонких тел – в зависимости от того, какой вид теплоотдачи превалирует, для теплотехнически массивных тел – по конвективному закону теплоотдачи); методика определения коэффициентов теплоотдачи изложена в [1];
- усреднить коэффициенты теплоотдачи в процессе нагрева или охлаждения.

Если изменение температуры средств нагрева или охлаждения имеет сложный характер, а также для увеличения точности расчета график изменения температуры разбивают на расчетные участки. В каждом из них температуру средств нагрева или охлаждения принимают постоянной или линейно меняющейся во времени.

При расчете по участкам конечное температурное состояние металла на предыдущем участке принимают за начальное для последующего участка. Если конечное температурное состояние металла является неравномерным по сечению, то для расчета последующего участка температуру считают распределенной по параболическому закону. Усреднение теплофизических свойств тела и коэффициентов теплоотдачи можно производить по участкам.

Во всех расчетах пренебрегают влиянием химических процессов (окисление, обезуглероживание), а тела, участвующие в теплообмене считают серыми и диффузными. В печах непрерывного действия пренебрегают изменением температуры средств нагрева или охлаждения по ширине печи и распространением тепла вдоль печи по металлу и элементам печи.