

Министерство образования и науки Российской Федерации
Сибирский федеральный университет

**РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ
В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Учебно-методическое пособие для выполнения практических заданий

Электронное издание

Красноярск
СФУ
2012

УДК 621.74(07)
ББК 34.772я 73
Р443

Составители: Усков Игорь Васильевич, Беляев Сергей Владимирович, Безруких Александр Иннокентьевич, Лесив Елена Михайловна

Р443 **Ресурсо-** и энергосбережение в литейном производстве: учеб.-метод. пособие для выполнения практических заданий [Электронный ресурс] / сост. И.В. Усков, С.В. Беляев, А.И. Безруких, Е.М. Лесив. – Электрон.дан. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. – Систем.требования: РС не ниже класса Pentium I; 128 Mb RAM; Windows 98/XP/7; AdobeReader V8.0 и выше. – Загл. с экрана.

В учебно-методическом пособии приведены практические задания, контрольные задачи по дисциплине, список основной и дополнительной литературы.

Предназначено для студентов специальности 150104.65 «Литейное производство черных и цветных металлов».

УДК 621.74(07)
ББК 34.772я 73

© Сибирский
федеральный
университет, 2012

Учебное издание

Подготовлено к публикации редакционно-издательским
отделом БИК СФУ

Подписано в свет 01.10.2012 г. Заказ 9655.
Тиражируется на машиночитаемых носителях.

Редакционно-издательский отдел
Библиотечно-издательского комплекса
Сибирского федерального университета
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79
Тел/факс (391)206-21-49. E-mail rio@sfu-kras.ru
<http://rio.sfu-kras.ru>

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ЗНАЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ ДИСЦИПЛИНАМ.....	4
1.1. Цель преподавания дисциплины	4
1.2. Задачи изучения дисциплины.....	4
1.3. Межпредметная связь	5
2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....	6
3. СОДЕРЖАНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	6
3.1. Самостоятельная работа по усвоению лекционного материала.....	6
3.2. Самостоятельная работа по подготовке к промежуточному и итоговому контролям	8
3.3. Самостоятельная работа по подготовке к практическим занятиям.....	12
3.4. Самостоятельная работа по изучению материала, не вошедшего в курс лекций	19
4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	32

1. ЗНАЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ ДИСЦИПЛИНАМ

1.1 Цель преподавания дисциплины

В настоящее время для отечественного литейного производства весьма актуальным является вопрос его эффективной организации. Управленческий анализ в литейном производстве должен быть направлен на выбор технически обоснованных и экономически эффективных технологических процессов изготовления отливок, что позволяет, с одной стороны, управлять формированием портфеля заказов в целях повышения эффективности производства, а с другой – подбирать наиболее экономичные технологические процессы под конкретный портфель заказов.

Цель изучения дисциплины *«Ресурсо- и энергосбережение в литейном производстве»* заключается в усвоении студентами знаний об оптимизации технологических процессов на каждой стадии изготовления отливок из различных сплавов.

Дисциплина *«Ресурсо- и энергосбережение в литейном производстве»* изучается студентами, обучаемыми по направлению подготовки 150100 – Металлургия с уровнем подготовки специалиста в 9-м семестре 5 курса, посредством которой они получают профильные знания в предметной области, связанной со своей специальностью.

Целью преподавания дисциплины в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования является изучение объекта профессиональной деятельности выпускников, а именно энерго- и ресурсосберегающих технологических процессов и устройств для производства изделий из черных и цветных металлов.

1.2 Задачи изучения дисциплины

В результате изучения дисциплины *«Ресурсо- и энергосбережение в литейном производстве»* студент должен **знать:**

- виды основных минеральных, энергетических и экономических ресурсов, используемых при изготовлении отливок;
- современные тенденции развития и совершенствования литейного производства;
- трудоемкость производства отливок и принципы организации и нормирования труда в литейных цехах;
- пути экономии материалов;

После изучения дисциплины студент должен **уметь:**

- управлять процессами формирования качества отливок;
- производить выбор рациональных технологических режимов для обеспечения заданного уровня качества;
- разрабатывать и осуществлять мероприятия по экономии ресурсов материалов и энергоносителей при одновременном предупреждении образования дефектов в литых заготовках.

Студент должен **иметь навыки:**

- выполнять расчетные, технико-экономические и технологические решения при выборе ресурсосберегающих технологий;

- применять малоотходные технологии, переработку и использование отходов для снижения себестоимости готовых отливок
- выбирать современные технологические процессы и оборудование для решения поставленных задач.

1.3 Межпредметная связь

Для освоения данной дисциплины необходимы знания дисциплин гуманитарно - социального, экономико - управленческого, математического и естественно - научного циклов основной образовательной программы подготовки инженеров, основными из которых являются физика, электротехника, прикладная механика, теплотехника, механическое оборудование и др.

Теоретической базой дисциплины «*Ресурсо- и энергосбережение в литейном производстве*» являются курсы «Технология литейного производства», «Информационные технологии в металлургии», «Производство отливок из сплавов цветных металлов», «Производство отливок из чугуна и стали» и ряд других профилирующих дисциплин.

Основной данная дисциплина является для дисциплин профессионального цикла ООП подготовки студентов по направлению 150100 – Металлургия. Кроме того, данная дисциплина является необходимой и при реализации основной образовательной программы подготовки студентов по направлению 150100 – Металлургия.

В таблице 1.1 приведен объем дисциплины и виды учебной работы.

Таблица 1.1

Объем дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего (часов)	Семестр
		9
Общая трудоемкость дисциплины	100	100
Аудиторные занятия:	51	51
Лекции	34	34
практические занятия (ПЗ)	17	17
семинарские занятия (СЗ)		
лабораторные работы (ЛР)		
другие виды аудиторных занятий		
промежуточный контроль		
Самостоятельная работа:	49	49
изучение теоретического курса (ТО)	49	49
курсовая работа		
расчетно-графические задания (РГЗ)		
реферат		
задачи		
задания		
другие виды самостоятельной работы (подготовка к зачету)		
Вид итогового контроля	зачет	зачет

2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

В таблице 2.1 приведены разделы и виды занятий.

Разделы дисциплины и виды занятий в часах (тематический план занятий)

№	Разделы	Лекции (часы)	ПЗ или СЗ (часы)	ЛР (часы)	Самостоятельная работа (часы)
	Раздел 1. Ресурсы в литейном производстве	4			8
	Раздели 2. Основные направления развития и совершенствования литейного производства с целью сбережения ресурсов	10			8
	Раздел 3. Экономия трудовых ресурсов	4			8
	Раздел 4. Пути экономии материалов	4		10	8
	Раздел 5. Снижение энергетических затрат	6			8
	Раздел 6. Планирование и оптимизация капитальных затрат	6		7	9
	Итого	34		17	49

3. СОДЕРЖАНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ.

Самостоятельная работа студентов предусматривает изучение материалов теоретического курса.

Изучение материалов теоретического курса проводится студентом после чтения соответствующей лекции путем самостоятельной проработки материала по источникам, приведенным в списке основной и дополнительной учебной литературы.

Для самостоятельной проработки теоретического материала рекомендуется использовать учебные пособия, приведенные в учебной программе, по разделам, соответствующим пройденному лекционному материалу. При самостоятельной работе с литературой студент обязан составить конспект. Конспект оформляется в рукописном виде в ученической тетради формата А5.

3.1. Самостоятельная работа по усвоению лекционного материала.

Раздел 1. Ресурсы в литейном производстве.

Виды экономических ресурсов, используемых при изготовлении отливок. Ресурсы воспроизводимые и невоспроизводимые. Особый экономический ресурс – время. Капиталовложения. Промежуточный и конечный продукт. Информационный ресурс. Принцип ограниченности ресурсов. Взаимозаменяемость ресурсов. Возникновение вторичных ресурсов. Предел производственных возможностей. Принятие решения по использованию ресурсов и цена выбора. Поиск оптимального решения.

Раздели 2. Основные направления развития и совершенствования литейного производства с целью сбережения ресурсов.

Тенденции развития литейного производства. Снижение расхода литых за-

готовок в продукции производства. Усложнение конструкции, уменьшение штучной массы и толщины стенок отливок. Повышение прочности и эксплуатационных свойств сплавов. Опережающий рост отливок из высокопрочного чугуна, легированных сталей, алюминиевых сплавов. Увеличение объемов производства отливок, изготовленных специальными способами литья (под давлением, по выплавляемым моделям и т.д.).

Научно - технические, конструкторско-технологические, организационно-экономические и социальные мероприятия по экономии ресурсов при производстве отливок. Разработка новых сплавов и способов изготовления отливок. Применение сварно-литых заготовок, композиционных сплавов и композиционных отливок. Внедрение прогрессивных технологических процессов плавки и изготовления форм. Совершенствование подготовки исходных материалов. Повышение уровня автоматизации производства. Применение промышленных манипуляторов и роботов.

Совершенствование информационной базы и метрологического обеспечения. Учёт и анализ брака. Внедрение АСУТП, АСУТ, АСУП. Повышение квалификационного и культурно-интеллектуального уровня работающих. Концентрация и специализация литейного производства (по виду сплава, технологическая, предметная). Рентабельность мелких литейных цехов. Кооперированные литейные заводы.

Раздел 3. Экономия трудовых ресурсов.

Трудоёмкость производства отливок. Расчёт трудоёмкости и основные направления её снижения. Структура трудоёмкости по основным операциям изготовления отливок (изготовление форм, финишные операции, изготовление стержней, плавка, смесеприготовление). Принципы организации и нормирования труда. Условия труда в литейных цехах. Режимы труда и отдыха. Дисциплина труда. Система норм и нормативов труда.

Структура задач оптимизации трудовых процессов и норм труда. Проектирование рабочих мест и трудовых приёмов. Принципиальные схемы определения численности персонала. Общая задача и методы оптимизации разделения труда, норм обслуживания и численности персонала в производственных системах.

Раздел 4. Пути экономии материалов.

Составление производственной программы. Баланс металла. Учет брака. Расчет свежих компонентов шихты с целью минимизации себестоимости жидкого расплава. Совершенствование структуры шихты, поиск эффективных заменителей дорогостоящих шихтовых материалов, флюсов, огнеупоров. Баланс смеси. Расчет свежих компонентов с целью минимизации затрат. Регенерация песков из отработанных смесей. Требования, предъявляемые к регенерированным пескам. Оптимизация размеров запасов. Расчёт издержек по содержанию запасов. Гарантийный, буферный и расходуемый запасы. Минимизация совокупных издержек на материалы.

Раздел 5. Снижение энергетических затрат.

Выбор вида энергии для использования при плавке сплавов. Выбор типа плавильного агрегата с учётом теплового КПД. Интенсификация процессов плавки. Применение в шихте жидкого металла путем транспортировки его непосред-

ственно от металлургических предприятий. Использование экономичных плавильных агрегатов нового поколения – дуговых печей постоянного тока, индукционных печей средней частоты, индукционно - плазменных печей, металлургических ваграночных комплексов с вагранками закрытого типа с подогревом дутья. Определение возможности использования в процессе плавки дешёвой (ночной) электроэнергии. Внепечная обработка рафинирование и модифицирование. Вакуумирование сплавов. Суспензионная заливка. Выбор способа формообразования. Выбор формовочного оборудования. Расчёт энергозатрат на других операциях получения отливок. Контроль расхода энергии на всех стадиях технологического процесса. Утилизация тепла отходящих газов.

Раздел 6. Планирование и оптимизация капитальных затрат.

Капитальные вложения на новое строительство, реконструкцию, техническое перевооружение как сумма затрат – на здания и сооружения, оборудование, оснастку и инвентарь. Источники привлечения капитала. Внутренние и внешние источники. Научно - технические (инновационные) и производственно-технологические проекты. Достижение точки окупаемости проекта. Нормативный срок окупаемости капитальных вложений. Социально - экономический эффект от вложения капитала. Выбор режима работы цеха и обоснование степени механизации и автоматизации оборудования. Внедрение современных технологических процессов.

3.2. Самостоятельная работа по подготовке к промежуточному и итоговому контролю

Задача №1

Задание для выполнения первой задачи приводится в десяти возможных вариантах. Студент выбирает тот вариант, номер которого совпадает с последней цифрой шифра.

Дано:

шихтовые компоненты (табл.3.1) для выплавки стали, охарактеризованной в табл. 2. Сталеплавильный процесс ведётся в основной дуговой печи с окислением. Средний химический состав компонентов шихты указан с учётом степени усвоения отдельных химических элементов в процессе плавки. Цены компонентов следует рассматривать как условные.

Найти:

оптимальное количество кокса, загружаемого с металлошихтой для экономии чугуна, и эффект сокращения себестоимости стали, по сравнению с условиями плавки без применения кокса.

Таблица 3.1

Компоненты плавильной шихты

Компоненты	Массовая Доля j -го компонента	Цена R_j , руб/т	Содержание химических элементов с учётом степени их усвоения, %				
			C	Si	Mn	P	S
1.Стальной лом привозной	x_1	920	0,24	0	0,20	0,025	0,04
2.Возврат собственного производства	x_2	580	0,41	0	0,60	0,020	0,03
3.Чугун передельный ПЛ1	x_3	2890	3,85	0	0,85	0,075	0,05
4.Кокс литейный КЛ-2	x_4	865	69,70	0	0	0	0,72
5.Ферросилиций ФС75	x_5	9800	0,10	69,3	0,38	0,040	0,02
6.Ферромарганец ФМн70	x_6	25000	7,00	0,90	71,30	0,360	0,03
7.Ферромарганец ФМн90	x_7	34760	1,50	2,25	80,75	0,24	0,03

Примечание. Для получения стали требуемого качества следует принять количество углерода в шихте на 0,3% выше верхнего предела его содержания в стали. Содержания других элементов аналогичны количеству их в стали заданной марки (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Марки стали и её состав

Вариант	Марка стали	Химический состав, %				
		C	Si	Mn	P	S
1	Ст.3С	0,14 - 0,22	0,12 - 0,35	$\leq 0,60$	$\leq 0,050$	$\leq 0,050$
2	Ст.4С	0,18 - 0,27	0,12 - 0,35	$\leq 0,70$		$\leq 0,050$
3	Ст.5	0,28 - 0,37	0,12 - 0,25	0,50 - 0,80		$\leq 0,055$
4	Ст.5С	0,28 - 0,35	0,17 - 0,35	$\leq 0,80$		$\leq 0,050$
5	20	0,17 - 0,25	0,17 - 0,37	0,35 - 0,65	$\leq 0,045$	
6	25	0,22 - 0,30		0,35 - 0,80		
7	30	0,27 - 0,35				
8	35	0,32 - 0,40				
9	40	0,37 - 0,45				
0	45	0,42 - 0,50				

Указания к решению задачи №1

Начинать поиск оптимального решения, т.е. такого состава шихты, который обладает минимальной стоимостью и вместе с тем обеспечивает заданный химический состав выплавляемой стали, следует с нулевого количества кокса в шихте.

При этом фиксируют значение количества чугуна в шихте и её себестоимость. Затем последовательно увеличивают содержание кокса до некоторого предела, определяемого допустимым содержанием серы в стали. Соответствующую этому себестоимость сравнивают с первоначальной и отмечают достигнутое сокращение потребного количества чугуна.

Задача №2

Исходные данные для решения второй задачи выбираются из приводимых ниже таблиц по вариантам в зависимости от последней и предпоследней цифр шифра студента.

Дано:

- свежий кварцевый песок (табл.3.3);
- жидкое стекло (табл.3.4);
- оборотная песчано-жидкостекольная формовочная смесь.

Найти:

оптимальное (наиболее экономичное) количество свежего кварцевого песка, % от массы сухой смеси, добавляемого на каждом цикле оборота, с тем, чтобы после 15 циклов массовое содержание Na_2O в той же смеси не превысило 2,5 %.

Указания к решению задачи №2

При этом количества жидкого стекла и свежего кварцевого песка, вводимых на каждом цикле, поддерживаются постоянными.

Таблица 3.3

Содержание Na_2O в кварцевом песке, % по массе

Последняя цифра шифра									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,5	0,53	0,56	0,58	0,6	0,62	0,64	0,66	0,68	0,7

Начинать процесс поиска рекомендуется с некоторой наименьшей порции освежающей добавки, например 5% кварцевого песка. Если в результате расчёта окажется, что предельно допустимое содержание Na_2O достигается ранее, чем через 15 циклов, то следует последовательно увеличивать количество кварцевого песка до достижения искомого оптимума.

Таблица 3.4

Характеристика жидкого стекла, вводимого на каждом цикле оборота формовочной смеси

Предпоследняя цифра шифра	Содержание Na ₂ O в жидк. стекле, % по массе	Количество жидкого стекла, % от массы сухой смеси
1	11,8	6,0
2	12,2	7,5
3	12,4	8,0
4	12,6	4,7
5	12,8	7,3
6	13,0	6,9
7	12,3	6,4
8	12,5	7,1
9	12,0	7,9
0	12,7	6,6

Задача №3

Сокращение себестоимости стали за счет загружаемого с металлошихтой чугуна.

Дано:

Шихтовые компоненты (табл.3.5) для выплавки стали, охарактеризованной в табл. 2. Сталеплавильный процесс ведётся в основной дуговой печи с окислением. Средний химический состав компонентов шихты указан с учётом степени усвоения отдельных химических элементов в процессе плавки.

Цены компонентов следует рассматривать как условные.

Найти:

оптимальное количество кокса, загружаемого с металлошихтой для экономии чугуна, и эффект сокращения себестоимости стали, по сравнению с условиями плавки без применения кокса.

Примечание. Для получения стали требуемого качества следует принять количество углерода в шихте на 0,3% выше верхнего предела его содержания в стали. Содержания других элементов аналогичны количеству их в стали заданной марки (табл. 3.6).

Указания к решению

Начинать поиск оптимального решения, т.е. такого состава шихты, который обладает минимальной стоимостью и вместе с тем обеспечивает заданный химический состав выплавляемой стали, следует с нулевого количества кокса в шихте. При этом фиксируют значение количества чугуна в шихте и её себестоимость. Затем последовательно увеличивают содержание кокса до некоторого предела, определяемого допустимым содержанием серы в стали. Соответствующую этому себестоимость сравнивают с первоначальной и отмечают достигнутое сокращение потребного количества чугуна.

Таблица 3.5

Компоненты плавильной шихты

Компоненты	Массовая доля j -го компонента	Цена R_j , руб/т	Содержание химических элементов с учётом степени их усвоения, %				
			C	i	n	P	S
1.Стальной лом привозной	1	920	0,24	0	0,20	0,025	0,04
2.Возврат собственного производства	2	580	0,41	0	0,60	0,020	0,03
3.Чугун передельный ПЛ1	3	2890	3,85	0	0,85	0,075	0,05
4.Кокс литейный КЛ-2	4	865	69,70	0	0	0	0,72
5.Ферросилиций ФС75	5	9800	0,10	69,3	0,38	0,040	0,02
6.Ферромарганец ФМн70	6	25000	7,00	0,90	71,30	0,360	0,03
7.Ферромарганец ФМн90	7	34760	1,50	2,25	80,75	0,24	0,03

Таблица 3.6

Марки стали и её состав

Вариант	Марка стали	Химический состав, %				
		C	Si	Mn	P	S
1	Ст.3С	0.14 - 0.22	0.12 - 0.35	0.60	0,050	0,05
2	Ст.4С	0.18 - 0.27	0.12 - 0.35	0.70		0,05
3	Ст.5	0.28 - 0.37	0.12 - 0.25	0.50 - 0.80		0,055
4	Ст.5С	0.28 - 0.35	0.17 - 0.35	0.80		0,05
5	20	0.17 - 0.25	0,17 - 0,37	0.35 - 0.65	0,035	0,04
6	25	0.22 - 0.30		0.50 - 0.80		
7	30	0.27 - 0.35				
8	35	0.32 - 0.40				
9	40	0.37 - 0.45				
0	45	0.42 - 0.50				

3.3. Самостоятельная работа по подготовке к практическим занятиям

Нормирование расхода топливно - энергетических ресурсов

Трудоемкость практического занятия - 0,056 з. е. (2 часа).

Цель занятия: научиться определять индивидуальные и групповые технологические нормы расхода топливно-энергетических ресурсов, критерии энергоэффективности производства.

Нормирование расхода топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) - это определение меры рационального потребления этих ресурсов на единицу продукции установленного качества. Основная задача нормирования энергопотребления как составной части энергетического менеджмента - обеспечить применение в производстве методов рационального распределения и эффективного использования энергоресурсов.

Норма расхода ТЭР позволяет:

- планировать потребность ТЭР на производство определенного количества продукции;
- анализировать работу предприятия и его подразделений путем сопоставления норм и фактических удельных расходов ТЭР;
- определять удельную энергоемкость данного вида продукции;
- сравнивать энергоемкость одноименного продукта, производимого разными способами.

В основе составления норм расхода ТЭР лежит анализ энергетических балансов промышленных предприятий.

Классификация норм расхода ТЭР. Нормы расхода топлива, тепловой, электрической и механической энергии различаются как по степени агрегации - *индивидуальные, групповые*, так и по составу расходов - *технологические, общепроизводственные* (рис. 3.1).



Рис. 3.1 Классификация норм расхода ТЭР

Индивидуальная норма расхода ТЭР - это норма расхода на производство единицы определенного продукта, изготавливаемого определенным способом на конкретном оборудовании.

Групповая норма расхода ТЭР - это норма расхода на производство единицы одноименной продукции, изготавливаемой по различным технологическим схемам, на разнотипном оборудовании, из различного сырья.

Технологическая норма расхода ТЭР - это норма расхода на основные и вспомогательные технологические процессы производства данного вида продукции.

Общепроизводственная норма расхода ТЭР - это норма, которая учитывает расходы энергии на основные и вспомогательные технологические процессы, на вспомогательные нужды производства, а также технически неизбежные потери энергии в преобразователях, тепловых и электрических сетях предприятий, отнесенные на производство данной продукции.

Примерный состав технологической и общепроизводственной норм расхода ТЭР представлен на рис. 3.2.



Рис. 3.2. Примерный состав технологической и общепроизводственной норм расхода ТЭР

Основными методами разработки норм расхода ТЭР являются:

- опытный (приборный);
- расчетно-статистический - на основе статистических данных об удельных энергетических затратах за предшествующие годы, т. е. метод экстраполяции, или энергетического планирования;
- расчетно-аналитический - на основе математического описания энергопотребления с учетом нормообразующих факторов.

Расчетно-статистический и расчетно-аналитический методы применяются для разработки как индивидуальных, так и групповых норм расхода ТЭР. Опытный (приборный, приборно-расчетный) метод применяется для определения только индивидуальных групповых норм расхода ТЭР.

Расчет норм расхода ТЭР. Индивидуальную норму расхода ТЭР определяют по соотношению:

$$N_{И} = \sum_{i=1}^m e_i,$$

где e_j , m - статьи расхода и количество статей расхода, по которым рассчитывается норма.

Если одна из статей расхода намного превосходит остальные, целесообразно представить $N_{И}$ в виде

$$N_{И} = e_{max} \left(1 + \sum_{i=1}^{m-1} \delta_i \right)$$

$$\text{Где } \delta_j = e_j / e_{max}$$

Групповую норму расхода ТЭР определяют по соотношению

$$T_{ij}^H = E^T / V_{j,i},$$

где T^H - технологическая цеховая норма расхода энергоресурсов на технологический процесс производства i -го продукта в j -м цехе;

E^T - расход энергоресурсов на технологический процесс;

$V_{j,i}$ - объем производства i -го продукта (товарного) или его состав ляющей (полупродукта) в j -м цехе.

Технологическую заводскую (отраслевую) норму расхода ТЭР определяют по соотношению

$$H_{зф} = \sum_{i=1}^k (H_{и})_i \delta_i,$$

где $(H_{и})_i$ - индивидуальная норма расхода по i -й технологической группе;

$\delta_i = V_i/V$ - удельный вес i -й составляющей в общем объеме производства продукции;

k - количество технологических групп.

Технологическую цеховую норму расхода ТЭР рассчитывают по соотношению:

$$z^T = \sum_{i=1}^n T_i^H (V_{i,i}/V_i),$$

где n - количество цехов предприятия (предприятий), выпускающих продукцию;

V_i - объем производства i -го продукта на предприятии.

Задачи, решения:

Задача 1. Характеристика промышленных предприятий:

Предприятие № 1. Затраты ТЭР:

на основной технологический процесс - $5 \cdot 10^6$ МДж;

на разогрев и пуск оборудования - $3 \cdot 10^5$ МДж;

на плановые потери - $2 \cdot 10^5$ МДж.

Количество единиц выпускаемой продукции - 10 000.

Предприятие № 2. Затраты ТЭР:

на основной технологический процесс - $2 \cdot 10^7$ МДж;

на разогрев и пуск оборудования - $5 \cdot 10^5$ МДж;

на плановые потери - $4 \cdot 10^5$ МДж.

Количество единиц выпускаемой продукции - 20 000.

Необходимо:

1. Определить индивидуальные технологические нормы.
2. Найти групповую технологическую норму.
3. Сделать выводы относительно энергоэффективности технологических процессов.

Решение. В соответствии с определениями индивидуальной, групповой и технологической норм:

$$(T^u)_1 = (5 \cdot 10^6 \text{ МДж} + 3 \cdot 10^5 \text{ МДж} + 2 \cdot 10^5 \text{ МДж}) / 10\,000 \text{ ед. продукции} = 0,55 \cdot 10^3 \text{ МДж/ед. продукции};$$

$$(T^u)_2 = (2 \cdot 10^7 \text{ МДж} + 5 \cdot 10^5 \text{ МДж} + 5 \cdot 10^5 \text{ МДж}) / 20\,000 \text{ ед. продукции} = 1,04 \cdot 10^3 \text{ МДж/ед. продукции};$$

$$T^r = (0,55 \cdot 1/3 + 1,04 \cdot 2/3) \cdot 10^3 \text{ МДж/ед. продукции} = 0,82 \cdot 10^3 \text{ МДж/ед.}$$

Выводы:

1. Технологический процесс на предприятии № 1 организован с меньшими затратами ТЭР на выпуск одноименной продукции, чем на предприятии № 2.
2. Групповая технологическая норма ближе к индивидуальной технологической норме на предприятии № 2, так как оно выпускает продукции больше, чем предприятие № 1.

Общепроизводственную цеховую норму расхода ТЭР определяют по соотношению:

$$\mathcal{C}_{ij}^H = T_{ij}^H + E_j (k_{ij} / V_{ij}),$$

где \mathcal{C}_{ij}^H - общепроизводственная цеховая норма расхода энергоресурсов на производство i -го продукта в j -м цехе;

T_{ij}^H - удельный расход энергоресурсов на технологический процесс производства i -го продукта в j -м цехе;

E_j - суммарный расход энергоресурсов на вспомогательные нужды j -го цеха

k_{ij} - коэффициент пропорциональности, согласно которому производится распределение общепроизводственных цеховых затрат энергии по видам продукции;

V_{ij} - объем производства i -го продукта в j -м цехе.

Задача 2. Характеристика промышленного предприятия: На предприятии два цеха. На освещение предприятия расходуется 75 МВт·ч.

Характеристика цехов:

цех № 1: площадь освещения - 1000 м²;

цех № 2: площадь освещения - 4000 м².

Определить затраты энергии на освещение по каждому из цехов для установления общепроизводственной нормы расхода ТЭР.

Решение

$$E_1 = 75 \text{ МВт} \cdot \text{ч} (1000 \text{ м}^2 / 5000 \text{ м}^2) = 15 \text{ МВт} \cdot \text{ч};$$

$$E_2 = 75 \text{ МВт} \cdot \text{ч} (4000 \text{ м}^2 / 5000 \text{ м}^2) = 60 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.$$

Если цех производит продукцию одного вида (одного качества), то $k_{ij} = 1$. В этом случае общепроизводственную цеховую норму расхода ТЭР определяем по соотношению

$$\mathcal{C}^H = (E^T + E^B) / V,$$

где E^T - расход энергоресурсов на технологический процесс;

E^B - расход энергоресурсов на вспомогательные нужды;

V - объем производства продукта в цехе. Анализ соотношения суммарных энергетических затрат на производство продукта в цехе и энергетических затрат на технологический процесс проводим по формуле

$$N^T = (E^T / (E^T + E^B)) \cdot 100\%$$

Общепроизводственную заводскую (отраслевую) норму расхода ТЭР определяем по соотношению:

$$z^H = \sum_{i=1}^n \alpha_i^H \alpha_i$$

где α_j - доля j -го цеха в общем объеме выпуска одноименной продукции;
 n - количество цехов предприятия (предприятий), выпускающих одноименную продукцию.

Задача 3. Характеристика промышленных предприятий.

Предприятие № 1. Индивидуальная технологическая норма - $0,55 \cdot 10^3$ МДж/ед. продукции.

Затраты ТЭР на вспомогательные нужды производства - $1 \cdot 10^6$ МДж. Количество единиц выпускаемой продукции - 10 000.

Предприятие № 2. Индивидуальная технологическая норма - $1,04 \cdot 10^3$ МДж/ед. продукции.

Затраты ТЭР на вспомогательные нужды производства - $0,5 \cdot 10^7$ МДж. Количество единиц выпускаемой продукции - 20 000.

Необходимо:

1. Определить индивидуальные общепроизводственные нормы.
2. Найти групповую общепроизводственную норму.
3. Сделать вывод относительно энергоэффективности организации производства на предприятиях.

Решение. В соответствии с определениями индивидуальной, групповой и общепроизводственной норм:

$$(z^H)_1 = (0,55 \cdot 10^3 \text{ МДж/ед. продукции} + 1 \cdot 10^6 \text{ МДж} / 10000 \text{ ед. продукции}) = (0,55 + 0,1) \cdot 10^3 \text{ МДж/ед. продукции} = 0,65 \cdot 10^3 \text{ МДж/ед. продукции};$$

$$(z^H)_2 = (1,04 \cdot 10^3 \text{ МДж/ед. продукции} + 0,5 \cdot 10^7 \text{ МДж} / 20\,000 \text{ ед. продукции}) = (1,04 + 0,25) \cdot 10^3 \text{ МДж/ед. продукции} = 1,29 \cdot 10^3 \text{ МДж/ед. продукции};$$

$$(z^H)_{\text{общ}} = (0,65 \cdot 1/3 + 1,29 \cdot 2/3) \cdot 10^3 \text{ МДж/ед. продукции} = 1,08 \cdot 10^3 \text{ МДж/ед. продукции}.$$

Выводы:

1. На предприятии № 1 затрачивается меньшее количество ТЭР на выпуск единицы одноименной продукции, чем на предприятии № 2. Следовательно, производственный процесс на предприятии № 1 организован эффективнее.

2. Групповая общепроизводственная норма ближе к индивидуальной общепроизводственной норме на предприятии № 2, так как оно выпускает продукции больше, чем предприятие № 1.

Вспомогательные критерии энергетической эффективности. Для проведения режима энергосбережения и анализа энергоиспользования наряду с нормами расхода ТЭР должны применяться следующие показатели, характеризующие эффективность использования ТЭР на предприятии или в отрасли: удельная энергоемкость продукции (работ, услуг), обеспеченность прироста потребности в ТЭР за счет их экономии, энергопроизводительность.

Удельная энергоемкость продукции - отношение всей потребляемой на производственные нужды за год энергии к годовому объему продукции:

$$E = \Pi_{\text{ТЭР}} / V$$

где $\Pi_{\text{ТЭР}}$ - вся энергия, потребляемая на производственные нужды за год (в пересчете на условное топливо);

V - годовой объем продукции (в натуральном, условном или стоимостном выражении).

Обеспеченность прироста потребности в ТЭР за счет их экономии - отношение экономии ТЭР к приросту потребности в ТЭР:

$$\Delta \Pi_{\text{э}} = (\text{Э} / \Delta \Pi) \cdot 100 \% ;$$

$$\text{Э} = \text{Э}_{\text{н}} + \text{Э}_{\text{ВЭР}} ;$$

$$\text{Э}_{\text{н}} = (H_i + H_{\text{б}}) V_i ,$$

где V_i - объем выпуска продукции (в стоимостном выражении);

$\text{Э}_{\text{ТЭР}}$ - объем затрат ТЭР (в стоимостном выражении).

Задача 4.

Предприятие № 1. Затраты ТЭР:

на основной технологический процесс - $8 \cdot 10^6$ МДж;

на разогрев и пуск оборудования - $5 \cdot 10^5$ МДж;

на плановые потери - $2 \cdot 10^5$ МДж.

Количество единиц выпускаемой продукции - 10 000.

Предприятие № 2. Затраты ТЭР:

на основной технологический процесс - $2 \cdot 10^6$ МДж;

на разогрев и пуск оборудования - $5 \cdot 10^5$ МДж;

на плановые потери - $4 \cdot 10^5$ МДж.

Количество единиц выпускаемой продукции - 15 000.

Необходимо:

1. Определить индивидуальные технологические нормы

2. Найти групповую технологическую норму.

3. Сделать выводы относительно энергоэффективности технологических процессов.

Задача 5. Характеристика промышленного предприятия: На предприятии три цеха.

В целом на отопление предприятия расходуется 200 МВт • ч. Характеристика цехов: цех № 1: площадь - 2000 м ; цех № 2: площадь - 3000 м .

Необходимо определить затраты энергии на отопление по каждому из цехов для установления общепроизводственной нормы расхода ТЭР.

Задача 6. Характеристика промышленных предприятий:

Предприятие № 1. Индивидуальная технологическая норма - $1 \cdot 10^3$ МДж/ед. продукции.

Затраты ТЭР на вспомогательные нужды производства - $1 \cdot 10^6$ МДж. Количество единиц выпускаемой продукции - 5 000.

Предприятие № 2. Индивидуальная технологическая норма - $2 \cdot 10^3$ МДж/ед. продукции.

Затраты ТЭР на вспомогательные нужды производства - $0,5 \cdot 10^7$ МДж. Количество единиц выпускаемой продукции - 20 000.

Необходимо:

1. Определить индивидуальные общепроизводственные нормы.
2. Найти групповую общепроизводственную норму.
3. Сделать вывод относительно энергоэффективности организации производства на предприятиях.

Задача 7. По исходным данным задачи 6 определить вспомогательные критерии энергетической эффективности:

1. Удельную энергоемкость продукции.
2. Обеспеченность прироста потребности в ТЭР за счет их экономии. Энергопроизводительность.

3.4. Самостоятельная работа по изучению материала, не вошедшего в курс лекций

Примеры расчета расхода энергоресурсов по отдельным видам продукции
Электроэнергия

Расчет расхода электроэнергии на перекачку жидкости насосом

Мощность электродвигателя насоса определяется по формуле:

$$P = \frac{K_3 * Q * H * \gamma}{102 * 3600 * \eta_n * \eta_{пер}}, \text{ кВт, где}$$

K_3 - коэффициент запаса мощности электродвигателя (при $Q \leq 100 \text{ м}^3/\text{ч}$,

$K_3=1,2 \div 1,3$; при $Q > 100 \text{ м}^3/\text{ч}$, $K_3=1,1 \div 1,15$);

Q – производительность насоса, $\text{м}^3/\text{ч}$;

H – полный напор с учетом высоты всасывания, м.вод.ст.;

γ - плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$ (плотность воды $\square=1000 \text{ кг}/\text{м}^3$);

η_n - КПД насоса;

$\eta_{пер}$ - КПД передачи определяется из ниже приведенной таблицы 3.7.

<i>Тип передачи</i>	<i>Значение КПД</i>
Насадка на вал эл/двигателя	1,0
Ременная	0,94-0,98
Муфтовая	0,97-0,99
Редукторная	0,88-0,96

Удельный расход электроэнергии для любого режима работы насоса равен:

$$\mathcal{E}^H = \frac{H}{0,00272 * \eta_{\partial} * \eta_{*}}, \text{ кВт.ч/м}^3,$$

где H – действительный напор, развиваемый насосом при данном режиме работы, м.вод.ст.;

η_{∂} - КПД электродвигателя;

η_{*} - КПД насоса.

Расчет расхода электроэнергии на выработку сжатого воздуха

Удельный расход электроэнергии на выработку 1000 м³ сжатого воздуха по компрессорной установке составит:

$$\mathcal{E}^{x.y.} = \mathcal{E}^{np} + \mathcal{E}^{oxl}, \text{ кВт.ч/тыс.м}^3$$

Удельный расход электроэнергии на привод компрессора определяется:

$$\mathcal{E}^{np} = \frac{L_{из} * a_n}{0,00272 * \eta_{из} * \eta_{\partial} * \eta_{пер}}, \text{ кВт.ч/тыс.м}^3,$$

где $L_{из}$ - работа изотермического сжатия, кгм;

a_n - поправочный коэффициент на средние значения температуры и барометрического давления воздуха во всасывающем патрубке;

$\eta_{из}$ - изотермический КПД компрессора, определяемый по данным испытаний компрессора;

η_{∂} - КПД электродвигателя;

$\eta_{пер}$ - КПД передачи.

Работа изотермического сжатия компрессора определяется по формуле:

$$L_{из} = 23000 * P^1 * \epsilon^1 * \lg \frac{P_2}{P_1}, \text{ кгм},$$

где P^1 - абсолютное давление всасывания (определяется по манометру, атм);

ϵ^1 - начальный всасываемый объем воздуха, равный 1 м³;

P^2 - абсолютное давление сжатия, атм;

Поправочный коэффициент a^n определяется по формуле:

$$a^n = \frac{1,205}{\gamma_{\partial}},$$

где γ_{∂} - удельный вес всасываемого воздуха в действительных условиях, кг/м³.

$$\gamma_{\partial} = \frac{0,465 * B_{cp}}{273 + t_{cp}}, \text{ кг/м}^3$$

где B^{cp} - среднее барометрическое давление во всасывающем патрубке, мм рт.ст.;

t^{cp} - средняя температура всасываемого воздуха для периода нормирования, °С.

В практических условиях на найденную исходную величину удельного расхода электроэнергии необходимо вносить ряд поправок. Эти поправки должны учитываться следующими коэффициентами:

а) коэффициентом, учитывающим износ компрессора. Для новых компрессоров он равен 1,0; для старых машин поршневого и ротационного типов не ниже 1,1; для турбокомпрессоров не ниже 1,05.

б) коэффициентом, учитывающим конечное давление сжатия;

в) поправочным коэффициентом, учитывающим степень загрузки компрессора, принимаемым по таблице 3.8:

Таблица 3.8

Значение поправочного коэффициента загрузки компрессора

Типы компрессоров	Поправочный коэффициент при загрузке, %							
	100	90	80	70	60	50	40	30
Поршневые с регулированием путем подключения дополнительных вредных пространств	1,0	1,03	1,04	1,08	1,12	1,16	1,22	1,31
Поршневые с регулированием на холостой ход и ротационные компрессоры	1,0	1,03	1,08	1,11	1,16	1,23	1,32	-
Турбокомпрессоры с дроссельным регулированием	1,0	1,05	1,09	1,15	1,15	-	-	-

Степень загрузки компрессора называется отношение количества воздуха подаваемого компрессором в единицу времени к его паспортной производительности за это время. Степень загрузки компрессора должна быть не ниже 90%.

Удельный расход электроэнергии на охлаждение компрессора определяется по формуле:

$$\mathcal{E}^{охл} = 0,00272 * \frac{H * Q_{\partial}}{\eta_{\partial} * \eta_{\partial} * \eta_{пер}}, \text{ кВт.ч/тыс.м}^3,$$

где H – напор воды, включая и высоту всасывания, м.вод.ст.;

Q_{∂} - часовой расход воды, л/ч (количество воды, идущей на охлаждение, замеряется счетчиком). Для компрессоров производительностью до 10 м³/мин расход воды равен 4,5-5 л на 1м³ всасываемого воздуха; для компрессоров производительностью свыше 10 м³/мин - 3,5-4,5 л на 1м³ всасываемого воздуха;

η_{∂} - КПД насоса (принимается по паспортным данным);

η_{∂} - КПД электродвигателя насоса;

$\eta_{пер}$ - КПД передачи от электродвигателя к насосу (см. табл. 3.8).

Расчет расхода электроэнергии электросварочными установками

Расход электроэнергии на сварку в общем виде определяются по формулам:

$$\mathcal{E}^{cb} = \frac{U * J * T}{\eta * 1000} + P^{x,x}(\tau - T), \text{ кВт.ч}$$

где U – напряжение сварочной дуги, принимаемое по технологическому режиму, В;

J – сила тока (определяется замером или по технологическому режиму), А;

T – время горения дуги, ч;

η - КПД источника питания дуги (определяется по паспортным данным);

$P^{x,x}$ - мощность холостого хода источника питания дуги (определяется опытным путем. При сварке на переменном токе расход электроэнергии на холостой ход незначителен и им можно пренебречь), кВт;

τ – полное время работы источника дуги (определяется расчетом), ч

Время горения дуги для наплавки 1 кг металла определяется по формуле:

$$T = \frac{1000}{j * k_n}, \text{ ч}$$

где k^H - коэффициент наплавки, представляющий собой количество металла в граммах, наплавляемого за 1 час горения дуги при $J=1\text{А}$ (при электросварке на переменном токе электродами с толстым покрытием $k^H=6 - 18 \text{ г/(А.ч)}$, при автоматической электросварке под флюсом $k^H=11 - 24 \text{ г/(А.ч)}$).

Расход электроэнергии при ручной дуговой электросварке определяется на 1 кг наплавляемого металла по формуле:

$$\mathcal{E}^p = \frac{U * C_x}{\eta * k_n}, \text{ кВт.ч}$$

где C^x - коэффициент, учитывающий потери холостого хода источника питания (при переменном токе и при питании аппарата через сварочный трансформатор и отключении его на холостом ходу коэффициент C^x может быть принят равным 1; на постоянном ходе $C^x=1,17$).

Вес наплавленного металла подсчитывается по формуле:

$$P^H = F \cdot L \cdot \rho, \text{ кг}$$

где F – площадь поперечного сечения шва, см^2 ;

L – длина шва, см;

ρ - удельный вес наплавленного металла (для малоуглеродистых сталей $\rho = 7,8 \text{ г/см}^3$).

Таблица 3.9

Удельный расход электроэнергии при ручной дуговой электросварке, автоматической и полуавтоматической, электрошлаковой сварке

Род тока и способ сварки	Удельный расход электроэнергии, кВт.ч/кг
<i>Переменный ток</i>	
Ручная дуговая сварка:	
однофазная схема	3,5 - 3,8
трехфазная схема	2,65 – 3,0
Автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом	2,8 – 3,5
Электрошлаковая сварка	1,8 – 2,4
<i>Постоянный ток</i>	
Ручная дуговая сварка:	
однопостовая	5,0 – 6,5
многопостовая	8,0 – 9,0
Автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом	4,2 – 6,0
Автоматическая и полуавтоматическая сварка в среде углекислого газа	2,2 – 3,2

Расход электроэнергии на точечную сварку определяется на сварку для одной точки по формуле:

$$\mathcal{E}_m = \frac{U_m * J_m * \cos \varphi * \eta * T_{ce}}{1000 * 3600}, \text{ кВт.ч}$$

где U_m – напряжение холостого хода по ступеням во вторичном контуре сварочной машины, В (для укрупненных расчетов можно принять: при сварке черных металлов $U_m=3В$; при сварке цветных металлов $U_m=10В$);

J_m - сварочный ток, А (определяется из карт технологического процесса);
 $\cos \varphi$ - коэффициент мощности машины (может быть принят 0,6 для стационарных машин и 0,3 для переносных);

η - КПД сварочного трансформатора (принимается по паспортным данным);
 T_{ce} - время сварки одной точки, сек (находится из карт технологического процесса).

Расчет расхода электроэнергии на работу металлообрабатывающего оборудования

Удельный расход электроэнергии на работу металлообрабатывающего оборудования определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_m = \frac{1,1 * k_{u.o} * k_c * \sum P_m * T}{\cos \varphi * \Pi}, \text{ кВт.ч/ед.прод.}$$

- где 1,1 – коэффициент, учитывающий потери в сетях;
 $k^{u.o}$ - коэффициент использования оборудования;
 k^c - коэффициент спроса;
 $\sum P_m$ - суммарная установленная мощность металлообрабатывающего оборудования, кВт;
 T – время работы металлообрабатывающего оборудования за нормируемый период, час;
 $\cos \varphi$ - коэффициент мощности;
 Π – выпуск продукции за нормируемый период.

Таблица 3.10

Коэффициенты использования мощностей и спроса

Электроприемники	Коэффициент использования мощности, k^u	Коэффициент мощности, $\cos \varphi$	Коэффициент спроса k^c
<i>Металлорежущие станки:</i> мелкосерийного производства с нормальным режимом работы (мелкие токарные, строгальные, долбежные, фрезерные, сверлильные, карусельные и др.)	0,12	0,4	0,14
крупносерийного производства при тяжелом режиме работы (штамповочные прессы, автоматы, револьверные, обдирочные, зубофрезерные, а также крупные токарные строгальные, фрезерные, карусельные и расточные станки)	0,16	0,5	0,2
Переносной электрический инструмент	0,06	0,5	0,1
Сварочные трансформаторы для ручной сварки	0,3	0,35	0,35
Мелкие нагревательные приборы	0,6	1,0	0,7

Расчет расхода электроэнергии на работу деревообрабатывающего оборудования

Удельный расход электроэнергии рамными пилами определяется по формуле:

$$\mathcal{E}^{p.n} = \frac{k_{p.n} * b * \sum l * n * T}{102 * 60 * 1000 * \eta_{пер} * \Pi}, \text{ кВт.ч/продукция}$$

где $k^{p.n}$ - удельное сопротивление резанию рамными пилами, в зависимости от скорости подачи на зуб, кг/мм² (для хвойных пород в соответствии с приведенной ниже таблице 3.11).

Таблица 3.11

Удельное сопротивление резанью

Скорость резания v , мм/сек	1,6	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2
Удельное сопротивление резанию, $k^{p.n}$, кг/мм ²	6,1	6,2	6,4	6,6	6,9	7,3	8,0	9,1

b – ширина пропила, мм

$\sum l$ – суммарная высота пропила всего постава, мм;

n – скорость вращения вала лесопильной рамы, об/мин;

T – время работы пилорамы за нормируемый период, час;

$\eta_{пер}$ – КПД передачи;

Π – выпуск продукции за нормируемый период.

Удельный расход электроэнергии электрорубанком определяется по формуле:

$$\mathcal{E}^{э.р} = \frac{k_{р.э} * b * H * v * T}{102 * 60 * \eta_{пер} * \Pi}, \text{ кВт.ч/продукция}$$

где $k^{э.р}$ – удельное сопротивление резанию при строгании, кг/мм² (для электрорубанка рекомендуется $k^{э.р}=3$ кг/мм²);

b – ширина строгания электрорубанка, мм

H – глубина строгания, мм;

v – скорость подачи, м/мин;

T – время работы электрорубанка за нормируемый период, час;

$\eta_{пер}$ – КПД передачи;

Π – выпуск продукции за нормируемый период.

Удельный расход электроэнергии фрезерным станком определяется по формуле:

$$\mathcal{E}^{\phi} = \frac{k_{р.ф} * b * l_1 * v * T}{102 * \eta_{пер} * \Pi}, \text{ кВт.ч/продукция}$$

где $k^{р.ф}$ – удельное сопротивление резанию при фрезеровании, кг/мм² (для электрорубанка рекомендуется $k^{р.ф}= 1,5-2$ кг/мм²);

b – ширина фрезерования, мм

l^1 – толщина срезаемого слоя коры и древесины, мм;

v – скорость подачи, мм/сек;

T – время работы фрезерного станка за нормируемый период, час;

Π – выпуск продукции за нормируемый период.

Расчет потерь электроэнергии в трансформаторах и электрических сетях

Потери электроэнергии в трансформаторах определяются как сумма потерь в магнитопроводе и потерь в обмотках трансформатора:

$$\mathcal{E}_{тр} = \Delta P^c + \Delta P^{x.3} * \left(\frac{S_{см}}{S_n} \right)^2 * \tau, \text{ кВт.ч}$$

где ΔP^c - потери в стали (магнитопроводе) трансформатора, приведены в паспорте трансформатора, кВт;

$\Delta P^{x.3}$ - потери в обмотках, приведены в паспорте трансформатора, кВт;

S^n - номинальная (паспортная) мощность трансформатора, кВА;

$S^{см}$ - среднесменная загрузка трансформатора, кВА;

τ – время потерь, представляет собой расчетное время, в течение которого трансформатор, загруженный постоянной максимальной нагрузкой имеет те же потери электроэнергии, что и при работе с действительной (изменяющейся) нагрузкой, час.

Время потерь выбирается в зависимости от времени использования максимума нагрузки T_{max} (3.12):

Таблица 3.12

Максимум нагрузки T_{max}

T_{max} , час	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
T , час	100	1400	2000	3000	4400	6000	7500

Потери электроэнергии в трехфазных сетях определяются:

$$\mathcal{E}^c = 3 * I_{max}^2 * R * \tau, \text{ кВт.ч}$$

где R – сопротивление линии (активное одной фазы), Ом;

I^{max} - максимальный ток линии, А.

Входящие в формулу величины R и I^{max} в свою очередь определяются:

$$R = R^0 * l, \text{ Ом}$$

$$I^{max} = \frac{\mathcal{E}_a}{T_m * U_n * \cos \varphi * \sqrt{3}}, \text{ А}$$

где l – длина линии, км;

R^0 - сопротивление 1 км линии, Ом;

$U^{ном}$ - номинальное напряжение линии, кВ;

$\cos \varphi$ - коэффициент мощности токоприемника, на который работает линия;

$\mathcal{E}^{оп}$ - переданная линией мощность в расчетный период времени, кВт.ч.

Переданная линией мощность определяется по счетчикам коммерческого или технического учета, установленными в конце линии. Длина линии принимается по акту приемки в эксплуатацию.

Величина сопротивления одного километра линии определяется по нижеприведенной таблице 3.13 – 3.15:

Таблица 3.13

Активное сопротивление 1 км линии

Трехжильные кабели 0,4 кВ; 10 кВ									
Сечение жилы, мм ²	10	16	25	35	50	70	95	120	150
Алюминий, Ом/км	3,12	1,95	1,25	0,894	0,625	0,447	0,329	0,261	0,208
Медь, Ом/км	1,84	1,16	0,74	0,53	0,37	0,265	0,206	0,154	0,124

Таблица 3.14

Сечение провода, мм ²	A35	A50	A70	A95	A120
Алюминий, Ом/км	3,12	1,95	1,25	0,894	0,625

Таблица 3.15

воздушные линии 0,4 кВ; 10 кВ							
Сечение провода, мм ²	АС-16	АС-25	АС-35	АС-50	АС-70	АС-95	
Сталь-алюминий, Ом/км	2,06	1,38	0,85	0,65	0,46	0,23	

Тепловая энергия

Расчет расхода тепловой энергии на отопление

Максимальный часовой расход тепла на отопление определяется по формуле:

$$Q_{\text{быт}} = q^o \cdot k^c \cdot V^H \cdot (t_g - t_{н.о.}), \text{ ккал/ч}$$

где q^o - средние удельные отопительные характеристики зданий, ккал/м³·ч·°C;

k^c - поправочный коэффициент, учитывающий зависимость расхода тепла от рода и вида системы отопления (для паровоздушного или воздушного отопления $k^c=1,07$; для водяного с местными нагревательными приборами $k^c= 1,15$; для парового низкого давления по закрытой системе $k^c= 1,33$);

V^H - объем здания по наружному обмеру, м³;

t_g - средняя температура воздуха в здании, °C.

Таблица 3.16

Теплопотери через ограждающие конструкции отдельных зданий

Здания	Объем зданий, тыс. м ³	Удельные тепловые характеристики, ккал/м ³ *ч*°C	
		для отопления	для вентиляции
Пожарные депо	до 2	0,48	0,14
	2-5	0,46	0,09

	более 5	0,45	0,09
Гаражи	2	1,1	1,15
	3	0,96	1,06
	5	0,9	1,0
	10	0,83	0,9
	15	0,8	0,86
	20	0,78	0,82
	30	0,72	0,74
	40	0,68	0,65
	50	0,62	0,55
	Деревообработка	до 5	0,6 – 0,55
5-10		0,55 – 0,45	0,6 – 0,45
10-50		0,45 – 0,4	0,45 – 0,4
Ремонтные	5-10	0,6 – 0,5	0,2 – 0,15
	10-20	0,5 – 0,45	0,15 – 0,1
Паровозные депо	до 5	0,7 – 0,65	0,4 – 0,3
	5 - 10	0,65 – 0,6	0,3 – 0,25
Компрессорные станции	1	0,6	-
	3	0,55	-
	5	0,50	-
	10	0,35	-
Кислородные станции	1	1	-
Бытовые и административно-вспомогательные помещения	0,5-1	0,6 – 0,45	-
	1-2	0,45 – 0,4	-
	2-5	0,4 – 0,33	0,14 – 0,12
	5-10	0,33 – 0,3	0,12 – 0,11
	10-20	0,3 – 0,25	0,11 – 0,1
Цеха металлоконструкций	50-100	0,38 – 0,35	0,53 – 0,45
	100-150	0,35 – 0,3	0,45 – 0,35
Механосборочные, механические и слесарные отделения инструм. цехов	5-10	0,55 – 0,45	0,4 – 0,25
	10-50	0,45 – 0,4	0,25 – 0,15
	50-100	0,4 – 0,38	0,15 – 0,12
	100-200	0,38 – 0,35	0,12 – 0,08

Таблица 3.17

Средние расчетные температуры воздуха внутри отапливаемых помещений
(СНиП “Тепловые сети”)

Назначение здания	Температура внутреннего воздуха, t ^в , С°
Жилые здания, гостиницы, общежития, административные здания	18

	с.г. t=50 °С	t=65 °С	прокладки	t=90 °С	прокладки	t=110 °С	прокладки
32	20	25	45	32	52	38	58
57	25	31	56	40	65	47	72
76	29	35	64	45	74	53	82
89	31	38	69	49	80	57	88
108	34	42	76	54	88	62	96
159	42	52	94	65	107	75	117
219	51	62	113	79	130	91	142
273	60	72	132	90	150	103	163
377	76	-	-	107	183	126	202
426	82	-	-	121	203	137	219
478	91	-	-	132	223	150	241

Примечания: 1. Расчетные среднегодовые температуры воды в водяных тепловых сетях 65, 90, 110 °С соответствуют температурным графикам 95-70, 150-70, 180-70 °С.

2. Промежуточные значения норм плотности теплового потока определяются интерполяцией.

Таблица 3.19

Нормы плотности теплового потока для двухтрубных водяных тепловых сетей при подземной бесканальной прокладке

Условный диаметр трубопровода, мм	Нормы плотности теплового потока для двухтрубных водяных тепловых сетей при подземной прокладке, ккал/м ч							
	Для подающей линии с.г. t=65 °С	Для обратной линии с.г. t=50 °С	Суммарная для 2-х трубной прокладки	Для подающей линии с.г. t=90 °С	Для обратной линии с.г. t=50 °С	Суммарная для 2-х трубной прокладки	Для подающей линии с.г. t=110 °С	Для обратной линии с.г. t=50 °С
32	19	16	35	27	16	43	31	16
57	24	20	44	33	20	53	38	19
76	26	22	48	35	22	57	42	21
89	28	23	51	37	23	60	44	22
108	30	25	54	40	25	65	47	24
133	33	28	61	44	28	72	52	27
159	35	31	66	47	29	76	56	29
219	41	40	81	61	40	101	71	39
273	54	46	100	68	44	112	79	44
325	60	51	111	75	50	125	88	49
377	-	-	-	83	54	137	95	53
426	-	-	-	88	58	146	101	57
478	-	-	-	93	62	155	108	61

Примечания: 1. Расчетные среднегодовые температуры воды в водяных тепловых сетях 65, 90, 110 °С соответствуют температурным графикам 95-70, 150-70, 180-70 °С.

2. Промежуточные значения норм плотности теплового потока определяются интерполяцией.

Таблица 3.20

Нормы плотности теплового потока для теплопроводов, расположенных на открытом воздухе

Условный диаметр	Нормы плотности теплового потока для теплопроводов, расположенных
------------------	---

трубопровода, мм	на открытом воздухе, ккал/м*ч, при средней температуре теплоносителя, °С					
	50	65	75	100	125	150
48	17	20	23	28	36	44
57	19	24	26	33	41	49
76	21	26	29	37	47	56
89	24	29	33	41	51	61
108	26	32	36	46	57	67
133	30	36	41	51	63	74
159	33	40	45	57	70	82
219	40	49	55	70	85	99
273	46	56	63	79	95	110
325	53	64	71	88	105	122
377	59	71	79	98	117	135
426	65	77	86	106	127	147
476	70	84	93	115	136	156

Примечания:

1. Нормы плотности теплового потока определены при средней расчетной температуре окружающей среды +25°С.

2. Промежуточные значения норм плотности теплового потока определяются интерполяцией.

Таблица 3.21

Нормы плотности теплового потока для теплопроводов, расположенных внутри помещений

Условный диаметр трубопровода, мм	Нормы плотности теплового потока для теплопроводов, расположенных внутри помещений, ккал/м*ч, при средней температуре теплоносителя, °С				
	50	75	100	125	150
32	12	20	28	35	43
48	13	22	31	40	49
57	14	23	32	43	53
76	15	26	37	49	58
89	16	27	39	52	62
108	22	34	45	57	68
133	27	40	53	65	76
159	31	45	60	72	84
194	35	50	66	80	93
219	38	52	70	85	100
273	42	59	78	95	111
325	45	61	85	104	122

Примечания: 1. Нормы плотности теплового потока определены при средней расчетной температуре окружающей среды +5°С.

2. Промежуточные значения норм плотности теплового потока определяются интерполяцией.

T - часы работы системы отопления в году, час;

l - длина теплопровода одинакового диаметра и одного типа прокладки, м;

α - коэффициент местных потерь тепла (потери арматуры, опор и компенсаторов). Значение коэффициента принимается в соответствии со СНиП "Тепловые сети. Нормы проектирования" принимают: для бесканальной прокладки $\alpha_{\text{кан}}=1,15$; для канальной d=1,2; для подземной прокладки d=1,25.

Потери тепловой энергии в неизолированных трубопроводах определяют по формуле:

$$Q_{н}^{г.з} = l^{н.уз} * \pi d^H * \alpha (t^2 - t^{oc}) * T$$

где $l^{н.уз}$ - длина неизолированного трубопровода, м;
 d^H - наружный диаметр трубопровода, м;
 t^2 , - температура поверхности трубопровода, можно принять равной температуре теплоносителя, °С;
 t^{oc} - температура окружающей среды, °С;
Т - часы работы системы отопления в году, час;
 α – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности теплопровода, ккал/м³*°С, определяется по формуле:

$$\alpha = 8 * 0,04 * t + 6 \sqrt{w},$$

где w – вынужденная конвекция воздуха принята 4,3 м/сек;

t – температура излучающей поверхности (температура теплоносителя), °С;

4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Основная литература

1. Ресурсо- и энергосбережение в литейном производстве : учебник / Г. Я. Вагин, В. А. Коровин, И. О. Леушин [и др.]. – М. : ФОРУМ, 2011 – 272 с.
2. Меркер, Э. Э. Энергосбережение в промышленности и эксергетический анализ технологических процессов [Текст] : учеб. пособие для вузов по направлению «Металлургия» : допущ. УМО по образованию в обл. металлургии / Э. Э. Меркер. – Старый Оскол : Изд-во ТНТ, 2008. – 196 с.
3. Энергосбережение при выплавке стали в дуговых печах : учебное пособие для вузов по направлению Металлургия / Э. Э. Меркер, А. И. Кочетов, Д. А. Харламов. – Старый Оскол : Изд-во ТНТ, 2009. – 296 с.

Дополнительная литература

1. Аксенов П.Н. Оборудование литейных цехов / П.Н. Аксенов – М.: Машиностроение, 1977.
2. Основы проектирования литейных цехов и заводов / Под ред. Б.В. Кнорре. – М.: Машиностроение, 1979.
3. Богдан К.С. Средства и системы автоматизации литейного производства / К.С. Богдан, В.Н. Горбенко, В.М. Денисенко, Ю.П. Каширин. – М.: Машиностроение, 1981.
4. Зайгеров И.Б. Оборудование литейных цехов / И.Б. Зайгеров – М.: Минск: Высшая школа, 1975.
5. Сафонов В.Я. Справочник по литейному оборудованию / В.Я. Сафонов – М.: Машиностроение, 1985.

6. Механическое оборудование заводов цветной металлургии: Учебник для ВУЗов в 3-х частях, ч. 1 / Притыкин Д.П. Механическое оборудование для подготовки шихтовых материалов. – М.: Металлургия, 1988.

7. Механическое оборудование заводов цветной металлургии: Учебник для ВУЗов в 3-х частях, ч. 2 / Кохан Л.С., Сапко А.И., Жук А.Я. Механическое оборудование цехов для производства цветных металлов. – М.: Металлургия, 1988.