

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Наименование образовательной программы: Энергообеспечение предприятий. Высокотемпературные процессы и установки

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ОПТИМИЗАЦИЯ УСТАНОВОК И РЕЖИМОВ ТЕПЛОЙ
ОБРАБОТКИ ПЕРЕД ГОРЯЧЕЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.11.02.02
Трудоемкость в зачетных единицах:	3 семестр - 7;
Часов (всего) по учебному плану:	252 часа
Лекции	3 семестр - 32 часа;
Практические занятия	3 семестр - 48 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	3 семестр - 18 часов;
Самостоятельная работа	3 семестр - 149,2 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	3 семестр - 4 часа;
включая: Контрольная работа Доклад	
Промежуточная аттестация:	
Защита курсового проекта	3 семестр - 0,3 часа;
Экзамен	3 семестр - 0,5 часа; всего - 0,8 часа

Москва 2021

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Строгонов К.В.
	Идентификатор	Rad748820-StrogonovKV-3f34a28f

(подпись)

К.В. Строгонов

(расшифровка подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Писарев Д.С.
	Идентификатор	Radb74374-PisarevDS-0915d1cb

(подпись)

Д.С. Писарев

(расшифровка
подписи)

Заведующий выпускающей
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рогалев А.Н.
	Идентификатор	Rb956ba44-RogalevAN-6233a28b

(подпись)

А.Н. Рогалев

(расшифровка
подписи)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: Подготовить специалистов, способных на высоком профессиональном уровне проводить анализ действующих теплотехнологических систем, основным звеном которых являются высокотемпературные теплотехнологические реакторы (ВТР), совершенствовать их работу и создавать реакторы нового поколения, в наибольшей мере удовлетворяющих заданной технологии

Задачи дисциплины

- ознакомить обучающихся студентов с основными типами ВТР, используемых в высокотемпературных теплотехнологиях;
- познакомить студентов с известными теплотехническими принципами обработки тел и материалов в ВТР;
- научить находить оптимальные решения поставленных задач;
- ознакомить с принципами комбинирования отдельных принципов для создания высокопроизводительных реакторов нового поколения.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-3 Способен к разработке мероприятий по энерго- и ресурсосбережению систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий	ИД-1 _{ПК-3} Демонстрирует знание нормативов по энерго- и ресурсосбережению систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий	знать: - классификацию и области применения топливно-энергетических ресурсов, правовые, технические, экономические, экологические основы энергосбережения (ресурсосбережения). уметь: - рассчитывать и анализировать процессы тепломассопереноса в элементах теплотехнологических установок.
ПК-3 Способен к разработке мероприятий по энерго- и ресурсосбережению систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий	ИД-2 _{ПК-3} Разрабатывает мероприятия по энерго- и ресурсосбережению систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий	знать: - законы и основные физико-математические модели переноса теплоты и массы применительно к теплотехническим и теплотехнологическим установкам и системам. уметь: - оценивать потенциал энерго- и ресурсосбережения на объекте деятельности за счет проведения ресурсосберегающих мероприятий.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Энергообеспечение предприятий. Высокотемпературные процессы и установки (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Основы теплопередачи
- уметь считать передачу теплоты излучением, конвекцией, теплопроводностью

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных единиц, 252 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания
				Контактная работа							СР			
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль	
КПР	ГК	ИККП	ТК											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Оптимизация установок радиационного теплообмена	60	3	8	-	12	-	-	-	-	-	40	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Оптимизация реакторов радиационного теплообмена"</p> <p><u>Подготовка курсового проекта:</u> Курсовой проект выполняется по индивидуальному заданию. В рамках работы необходимо рассчитать основные показатели работы оборудования, выбрать оптимальное решение. Курсовой проект предусматривает пояснительную записку с расчетами и графическую часть. В задание входит расчет следующих показателей:</p> <p><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу Оптимизация реакторов радиационного теплообмена и подготовка к контрольной работе</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u></p> <p>[1], 61-68 [2], 7-16, 24-32, 68-78, 312-332, 326-341 [4], 34-40 [5], 61-68</p>
1.1	Типы нагревательных печей металлургического производства	30		4	-	6	-	-	-	-	-	20	-	
1.2	Типовые графики процесса нагрева холодных и горячих слитков. Особенности оптимизации нагрева на примере инструментальных марок сталей	30		4	-	6	-	-	-	-	-	20	-	
2	Оптимизация установок конвективного	50		8	-	12	-	-	-	-	-	30	-	

												источников: [3], 75-93, 221-226	
4	Принципиальные возможности повышения эффективности ВТУ	37.7	8	-	12	-	2	-	-	-	15.7	-	Подготовка курсового проекта: Курсовой проект выполняется по индивидуальному заданию. В рамках работы необходимо рассчитать основные показатели работы оборудования, выбрать оптимальное решение. Курсовой проект предусматривает пояснительную записку с расчетами и графическую часть. В задание входит расчет следующих показателей: Подготовка к контрольной работе: Изучение материалов по разделу Принципиальные возможности повышения эффективности ВТУ и подготовка к контрольной работе Самостоятельное изучение теоретического материала: Изучение дополнительного материала по разделу "Принципиальные возможности повышения эффективности ВТУ" Изучение материалов литературных источников: [6], 3-36 [7], 117-136 [8], 24-47
4.1	Скоростные плавильные реакторы с погруженным в расплав факелом	12	4	-	6	-	-	-	-	-	2	-	
4.2	Комбинирование различных теплотехнических принципов	25.7	4	-	6	-	2	-	-	-	13.7	-	
	Экзамен	34.0	-	-	-	-	-	-	-	0.5	-	33.5	
	Курсовой проект (КП)	20.3	-	-	-	16	-	4	-	0.3	-	-	
	Всего за семестр	252.0	32	-	48	16	2	4	-	0.8	115.7	33.5	
	Итого за семестр	252.0	32	-	48	18		4		0.8	149.2		

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Оптимизация установок радиационного теплообмена

1.1. Типы нагревательных печей металлургического производства

Оптимизация внешнего радиационного теплообмена в реакторах с излучающим факелом и поверхностным излучателем. Организация движения газов в реакторах с излучающим факелом. Основные факторы, определяющие поле скорости и давления газа в реакторах с прямоточным и закрученным потоками. Управление полем лучистых тепловых потоков. Влияние температуры, относительной излучательной способности газов и других факторов на теплообмен излучением.

1.2. Типовые графики процесса нагрева холодных и горячих слитков. Особенности оптимизации нагрева на примере инструментальных марок сталей

Условия реализации высококачественного и интенсивного процесса нагрева тел в высокотемпературных реакторах ВТУ. Нагрев термически тонких изделий. Рациональные графики нагрева термомассивных тел в реакторах периодического и непрерывного действия. Типовые графики процесса нагрева холодных слитков. Типовой график процесса нагрева горячих слитков.

2. Оптимизация установок конвективного теплообмена

2.1. Оптимизация термической обработки материалов в реакторах с плотным, кипящим и взвешенным слоем материала

Общие условия организации эффективной тепловой обработки материалов на основе теплотехнических принципов плотного, кипящего и взвешенного слоя. Условия рациональной организации движения газов и материалов и особенности внешнего теплообмена в реакторе с плотным фильтруемым слоем. Постановка задачи по теплотехнической оптимизации реактора с плотным фильтруемым слоем материала.

2.2. Обработка материалов в реакторах с пересыпающимся слоем

Реализация принципа пересыпающегося слоя во вращающихся печах. Методики и алгоритмы расчета геометрических параметров вращающихся печей. Анализ работы действующих печей и методы интенсификации процессов. Оптимизация тепловой работы реакторов с пересыпающимся слоем.

3. Оптимизация установок плавления/грануляция

3.1. Алгоритмы расчета плавильных процессов в реакторах ВТУ

Физические модели процесса плавления. Методики расчета процессов плавления при различных условиях. Плавление термически тонких тел. Плавление термически массивных тел. Модель совместного процесса нагрева и плавления тел в расплавах. Нагрев массивных тел в расплавах. Методики расчетов.

3.2. Грануляция расплавов. Методики расчетов. Расчет массообменных процессов в реакторах ВТУ

Физическая модель, анализ процесса и алгоритм инженерных методов расчета грануляции расплавов.

4. Принципиальные возможности повышения эффективности ВТУ

4.1. Скоростные плавильные реакторы с погруженным в расплав факелом

Варианты физических схем газожидкостной системы при многоструйной продувке расплава факелом. Инверсия фаз. Кипящий слой расплава. Варианты теплотехнических процессов, реализуемых в реакторе с кипящим слоем расплава. Внешний теплообмен на поверхности твердых частиц и частиц расплава в реакторах периодического и непрерывного действия. Нагрев расплавов в реакторе с кипящим слоем при периодическом и непрерывном режимах работы. Нагрев тел в реакторах с кипящим слоем расплава.

4.2. Комбинирование различных теплотехнических принципов

Виды массообменных процессов, реализуемых в реакторах ВТУ. Основные уравнения массообмена. Диффузионный массообмен. Конвективный массообмен. Сравнительный анализ теплотехнических принципов. Общие и частные критерии оценки эффективности теплотехнических принципов, используемых в теплотехнологических реакторах. Удельная производительность теплотехнологических реакторов как сравнительный критерий оценки их совершенства. Критерии эффективности нагревательных печей металлургического производства.

3.3. Темы практических занятий

1. Принципиальные возможности повышения эффективности работы реакторов ВТУ при комбинировании различных теплотехнических принципов. Критерии эффективности нагревательных печей металлургического производства;
2. Оптимизация внешнего радиационного теплообмена. Типы нагревательных печей металлургического производства. Мозговой штурм. Оптимизация оборудования металлургических печей;
3. Оптимизация термической обработки материалов в реакторах с плотным, кипящим и взвешенным слоем материала;
4. Обработка материалов в реакторах с пересыпающимся слоем;
5. Алгоритмы расчета плавильных процессов в реакторах ВТУ;
6. Грануляция расплавов. Методики расчетов. Расчет массообменных процессов в реакторах ВТУ;
7. Скоростные плавильные реакторы с погруженным в расплав факелом. Реакторы с кипящим слоем расплава;
8. Оптимизация процессов нагрева тел в реакторах ВТУ. Типовые графики процесса нагрева холодных и горячих слитков. Особенности оптимизации нагрева на примере инструментальных марок сталей. Мозговой штурм. Оптимизация оборудования металлургических печей.

3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

3.5 Консультации

Аудиторные консультации по курсовому проекту/работе (КПР)

1. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Оптимизация установок радиационного теплообмена"
2. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые

консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Оптимизация установок конвективного теплообмена"

3. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Оптимизация установок плавление/грануляция"
4. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Принципиальные возможности повышения эффективности ВТУ"

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Оптимизация установок радиационного теплообмена"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Оптимизация установок конвективного теплообмена"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Оптимизация установок плавление/грануляция"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Принципиальные возможности повышения эффективности ВТУ"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)				Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	
Знать:						
классификацию и области применения топливно-энергетических ресурсов, правовые, технические, экономические, экологические основы энергосбережения (ресурсосбережения)	ИД-1ПК-3	+				Контрольная работа/Основные понятия о тепловой работе нагревательных печей
законы и основные физико-математические модели переноса теплоты и массы применительно к теплотехническим и теплотехнологическим установкам и системам	ИД-2ПК-3		+			Контрольная работа/Специальные вопросы нагрева металла Контрольная работа/Энерготехнологическая оптимизация реакторов
Уметь:						
рассчитывать и анализировать процессы тепломассопереноса в элементах теплотехнологических установок	ИД-1ПК-3			+		Доклад/Доклад по презентации
оценивать потенциал энерго- и ресурсосбережения на объекте деятельности за счет проведения ресурсосберегающих мероприятий	ИД-2ПК-3				+	Доклад/Доклад по презентации

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

3 семестр

Форма реализации: Выступление (доклад)

1. Доклад по презентации (Доклад)

Форма реализации: Письменная работа

1. Основные понятия о тепловой работе нагревательных печей (Контрольная работа)
2. Специальные вопросы нагрева металла (Контрольная работа)
3. Энерготехнологическая оптимизация реакторов (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

Балльно-рейтинговая структура курсового проекта является приложением Б.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №3)

С учётом средне семестровой составляющей

Курсовой проект (КП) (Семестр №3)

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Теплоэнергетика и теплотехника : справочник : в 4 кн. / Общ. ред. А. В. Клименко, В. М. Зорин . – 4-е изд., стер . – М. : Издательский дом МЭИ, 2007 . - ISBN 978-5-383-00015-1 .
Кн.4 : Промышленная теплоэнергетика и теплотехника / Б. Г. Борисов, и др. ; Общ. ред. А. В. Клименко, В. М. Зорин . – 2007 . – 632 с. - ISBN 978-5-383-00019-9 .
http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=4276;
2. Исаченко, В. П. Теплопередача : Учебник для энергетических вузов и факультетов / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел . – 4-е изд., перераб. и доп . – М. : Энергоиздат, 1981 . – 416 с.;
3. Ключников, А. Д. Теплотехническая оптимизация топливных печей / А. Д. Ключников . – М. : Энергия, 1974 . – 343 с.;
4. Высокотемпературные теплотехнологические процессы и установки : Учебник для вузов по специальности "Промышленная теплоэнергетика" / Ред. А. Д. Ключников . – М. : Энергоатомиздат, 1989 . – 336 с.;
5. Ключников, А. Д. Теплообмен и тепловые режимы в промышленных печах : учебное пособие для теплоэнергетических и теплотехнических специальностей вузов / А. Д. Ключников, В. Н. Кузьмин, С. К. Попов . – М. : Энергоатомиздат, 1990 . – 175 с. - ISBN 5-283-00142-3 .;

6. Строгонов, К. В. Теплотехническая оптимизация процессов в высокотемпературных теплотехнологических реакторах : практикум по курсу "Теплотехническая оптимизация высокотемпературных теплотехнологических реакторов" по профилю подготовки "Энергетика теплотехнологии" / К. В. Строгонов, В. Н. Кузьмин, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2019 . – 52 с. - ISBN 978-5-7046-2233-8 .
http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=11031;
7. Ключников, А. Д. Основы теории интенсивного энергосбережения. Конспект лекций : учебное пособие по курсу "Основы теории интенсивного энергосбережения" по направлению "Теплоэнергетика и теплотехника" / А. Д. Ключников, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2016 . – 148 с. - ISBN 978-5-7046-1698-6 .
http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=8204;
8. А. В. Баранов, Ж. А. Зарандия- "Энергосбережение и энергоэффективность",
 Издательство: "Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ)", Тамбов, 2017 - (96 с.)
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=498908>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Майнд Видеоконференции;
5. Антиплагиат ВУЗ.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" -
http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
10. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ш-206, Лекционная аудитория	
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ш-205, Компьютерный класс	
Учебные аудитории для проведения	Ш-205, Компьютерный	

промежуточной аттестации	класс	
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	Ш-206, Лекционная аудитория	
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Ш-107, Архив	

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Оптимизация установок и режимов тепловой обработки перед горячей деформацией

(название дисциплины)

3 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

КМ-1 Основные понятия о тепловой работе нагревательных печей (Контрольная работа)

КМ-2 Энерготехнологическая оптимизация реакторов (Контрольная работа)

КМ-3 Доклад по презентации (Доклад)

КМ-4 Специальные вопросы нагрева металла (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	14
1	Оптимизация установок радиационного теплообмена					
1.1	Типы нагревательных печей металлургического производства		+			
1.2	Типовые графики процесса нагрева холодных и горячих слитков. Особенности оптимизации нагрева на примере инструментальных марок сталей		+			
2	Оптимизация установок конвективного теплообмена					
2.1	Оптимизация термической обработки материалов в реакторах с плотным, кипящим и взвешенным слоем материала			+		+
2.2	Обработка материалов в ректорах с пересыпающимся слоем			+		+
3	Оптимизация установок плавление/грануляция					
3.1	Алгоритмы расчета плавильных процессов в реакторах ВТУ				+	
3.2	Грануляция расплавов. Методики расчетов. Расчет массообменных процессов в реакторах ВТУ				+	
4	Принципиальные возможности повышения эффективности ВТУ					
4.1	Скоростные плавильные реакторы с погруженным в расплав факелом				+	
4.2	Комбинирование различных теплотехнических принципов				+	
Вес КМ, %:			25	25	25	25