

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

Направление подготовки/специальность: 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Теплофизика и молекулярная физика

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
МАГНИТНАЯ ГАЗОДИНАМИКА

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.06
Трудоемкость в зачетных единицах:	3 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	3 семестр - 16 часов;
Практические занятия	3 семестр - 32 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	3 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	3 семестр - 93,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая:	
Перекрестный опрос	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	3 семестр - 0,5 часа;

Москва 2025

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Листратов Я.И.
	Идентификатор	R5aadb743-ListratovYI-6964dfbf

Я.И. Листратов

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Яньков Г.Г.
	Идентификатор	Rbb1f0c84-YankovGG-11a2e4dc

Г.Г. Яньков

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Герасимов Д.Н.
	Идентификатор	Ra5495398-GerasimovDN-6b58615

Д.Н. Герасимов

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: Изучение процессов гидродинамики и теплообмена при течении электропроводных сред в магнитных полях.

Задачи дисциплины

- Изучение многообразия задач магнитной газодинамики;
- Освоение методов расчета МГД-течений и теплообмена в технических устройствах и энергетическом оборудовании;
- Ознакомление с особенностями теплогидравлических процессов в теплообменных системах, использующих жидкометаллические теплоносители в магнитных полях.

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-2 Способен владеть расчетно-теоретическими и экспериментальными методами исследования теплогидравлических процессов в энергетическом оборудовании	ИД-2ПК-2 Владеет расчетно-теоретическими методами анализа процессов в энергетическом оборудовании	знать: - Особенности проблем магнитной газодинамики применительно к теплогидравлическим процессам в энергетическом оборудовании; - Методы расчета гидродинамики и теплообмена при течении электропроводных сред в магнитных полях. уметь: - Ставить и решать задачи магнитной газодинамики; - Анализировать и обосновывать выбор оптимальных параметров жидкометаллических теплообменных систем, работающих в магнитных полях.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Теплофизика и молекулярная физика (далее – ОПОП), направления подготовки 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Базируется на уровне высшего образования (бакалавриат, специалитет).

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 4 зачетных единицы, 144 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	Предмет магнитной газодинамики и ее практические приложения	5	3	1	-	2	-	-	-	-	-	2	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Предмет магнитной газодинамики и ее практические приложения"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u></p> <p>[1], 3-7 [2], 10-20 [3], 10-513 [5], 10-20</p>
1.1	Введение в магнитную газодинамику	5		1	-	2	-	-	-	-	-	2	-	
2	Система уравнений электромагнитной газодинамики	14		2	-	4	-	-	-	-	-	8	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Система уравнений электромагнитной газодинамики"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u></p> <p>[1], 8-18</p>
2.1	Уравнения электромагнитной газодинамики.	7		1	-	2	-	-	-	-	-	4	-	
2.2	Интегральная форма уравнений Максвелла.	7		1	-	2	-	-	-	-	-	4	-	
3	Система уравнений магнитной газодинамики	18		2	-	4	-	-	-	-	-	12	-	<p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Система уравнений магнитной газодинамики"</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Система уравнений магнитной газодинамики"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u></p>
3.1	Магнитогазодинамические приближения уравнений электромагнитной газодинамики	9		1	-	2	-	-	-	-	-	6	-	
3.2	Уравнение индукции	9		1	-	2	-	-	-	-	-	6	-	

	и его анализ. Проблема МГД-динамо												<u>источников:</u> [1], 19-25	
4	Ламинарные магнитогидродинамические течения в каналах	14	2	-	4	-	-	-	-	-	-	8	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Ламинарные магнитогидродинамические течения в каналах"
4.1	Ламинарное течение в плоском канале в поперечном магнитном поле (задача Гартмана)	7	1	-	2	-	-	-	-	-	-	4	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Ламинарные магнитогидродинамические течения в каналах"
4.2	Теплообмен в задаче Гартмана.	7	1	-	2	-	-	-	-	-	-	4	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 31-62 [4], 20-100
5	Турбулентные магнитогидродинамические течения	29	5	-	10	-	-	-	-	-	-	14	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Турбулентные магнитогидродинамические течения"
5.1	Воздействие магнитного поля на турбулентные течения:	5	1	-	2	-	-	-	-	-	-	2	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Турбулентные магнитогидродинамические течения"
5.2	Гидродинамики и теплообмен при течении в круглой трубе в продольном магнитном поле.	12	2	-	4	-	-	-	-	-	-	6	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 66-116
5.3	Гидродинамика и теплообмен при турбулентном течении в плоском канале в поперечном магнитном поле.	12	2	-	4	-	-	-	-	-	-	6	-	
6	Обобщение экспериментальных данных. Расчетные соотношения для коэффициентов	14	2	-	4	-	-	-	-	-	-	8	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Обобщение экспериментальных данных. Расчетные соотношения для коэффициентов сопротивления и теплоотдачи при течении"

	сопротивления и теплоотдачи при течении электропроводных жидкостей в магнитных полях												электропроводных жидкостей в магнитных полях" <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Обобщение экспериментальных данных. Расчетные соотношения для коэффициентов сопротивления и теплоотдачи при течении электропроводных жидкостей в магнитных полях" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 134-158
6.1	Течения в продольном магнитном поле.	7	1	-	2	-	-	-	-	-	4	-	Расчетные соотношения для коэффициентов сопротивления и теплоотдачи при течении электропроводных жидкостей в магнитных полях" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 134-158
6.2	Течения в поперечном магнитном поле.	7	1	-	2	-	-	-	-	-	4	-	
7	Магнитогидродинамические проблемы использования жидкометаллических теплоносителей для отвода тепла из blankets токамака и возможные пути их решения	14	2	-	4	-	-	-	-	-	8	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Магнитогидродинамические проблемы использования жидкометаллических теплоносителей для отвода тепла из blankets токамака и возможные пути их решения" <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Магнитогидродинамические проблемы использования жидкометаллических теплоносителей для отвода тепла из blankets токамака и возможные пути их решения" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 176-188
7.1	Снижение влияния эффекта Гартмана	7	1	-	2	-	-	-	-	-	4	-	"Магнитогидродинамические проблемы использования жидкометаллических теплоносителей для отвода тепла из blankets токамака и возможные пути их решения" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 176-188
7.2	Влияние проводимости стенок канала.	7	1	-	2	-	-	-	-	-	4	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.0	16	-	32	-	2	-	-	0.5	60	33.5	
	Итого за семестр	144.0	16	-	32	2	-	-	0.5	93.5			

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. Предмет магнитной газодинамики и ее практические приложения

1.1. Введение в магнитную газодинамику

Отличие магнитной газодинамики от обычной газодинамики. Электропроводные жидкости. Жидкометаллические теплоносители, их свойства. Возможность применения жидкометаллических теплоносителей в термоядерных реакторах. Терминология магнитной газодинамики. Принцип действия МГД-генератора, МГД-насоса, МГД-расходомера.

2. Система уравнений электромагнитной газодинамики

2.1. Уравнения электромагнитной газодинамики.

Уравнения движения и энергии в электромагнитной газодинамике. Пондеромоторная сила и джоулево тепловыделение. Уравнения Максвелла..

2.2. Интегральная форма уравнений Максвелла.

Закон Ома. Магнитное поле линейного и плоского тока. Условия однозначности задач электромагнитной газодинамики. Закон сохранения энергии электромагнитного поля. Обмен энергией между полем скорости и магнитным полем. Плотность и поток энергии электромагнитного поля, вектор Умова-Поинтинга. Баланс энергии в МГД канале. Различные формы уравнения энергии. Уравнение электромагнитной волны..

3. Система уравнений магнитной газодинамики

3.1. Магнитогазодинамические приближения уравнений электромагнитной газодинамики

Принимаемые допущения, пренебрежимо малые слагаемые. Система уравнений магнитной газодинамики..

3.2. Уравнение индукции и его анализ. Проблема МГД-динамо

Диффузия, вмороженность магнитного поля, физический смысл магнитного числа Рейнольдса. Основные безразмерные параметры магнитной газодинамики: число Стюарта, параметр магнитного давления, число Гартмана.. Квазилинейное и квазистатическое МГД-приближение. Волны Альфвена.

4. Ламинарные магнитогидродинамические течения в каналах

4.1. Ламинарное течение в плоском канале в поперечном магнитном поле (задача Гартмана)

Постановка задачи, система уравнений. Анализ различных режимов работы МГД канала с помощью закона Ома: режимы короткого замыкания, холостого хода, генератора, насоса, электромагнитного вентиля.. Решение уравнения движения, анализ полученного выражения для профиля скорости. Вывод формулы для коэффициента гидравлического сопротивления.. Эффект Гартмана. Влияние проводимости стенок на коэффициент сопротивления. Распределение индуцированного магнитного поля и давления по поперечному сечению канала..

4.2. Теплообмен в задаче Гартмана.

Теплообмен при течении в плоском канале в поперечном магнитном поле. Расчет профиля температуры и коэффициента теплоотдачи.. Гидродинамика и теплообмен при течении в круглой трубе в поперечном магнитном поле..

5. Турбулентные магнитогидродинамические течения

5.1. Воздействие магнитного поля на турбулентные течения:

Эффект Гартмана и эффект подавления турбулентности..

5.2. Гидродинамика и теплообмен при течении в круглой трубе в продольном магнитном поле.

Результаты экспериментального исследования гидравлического сопротивления и теплоотдачи при турбулентном течении в продольном магнитном поле.. Эффект подавления турбулентности магнитным полем..

5.3. Гидродинамика и теплообмен при турбулентном течении в плоском канале в поперечном магнитном поле.

Анализ экспериментальных данных по сопротивлению.. Гидродинамика и теплообмен при течении в круглой трубе в поперечном магнитном поле..

6. Обобщение экспериментальных данных. Расчетные соотношения для коэффициентов сопротивления и теплоотдачи при течении электропроводных жидкостей в магнитных полях

6.1. Течения в продольном магнитном поле.

Модели, учитывающие влияние магнитного поля на коэффициент турбулентного переноса импульса.. Коэффициент подавления турбулентности. Формула коэффициента подавления турбулентности продольным магнитным полем. Формулы для расчета коэффициентов сопротивления и теплоотдачи при течении в круглой трубе и плоском канале..

6.2. Течения в поперечном магнитном поле.

Формула коэффициента подавления турбулентности поперечным магнитным полем.. Формулы для расчета коэффициентов сопротивления и теплоотдачи при течении в плоском канале..

7. Магнитогидродинамические проблемы использования жидкометаллических теплоносителей для отвода тепла из blankets токамака и возможные пути их решения

7.1. Снижение влияния эффекта Гартмана

Способы снижения влияния эффекта Гартмана. Течение в компланарном магнитном поле..

7.2. Влияние проводимости стенок канала.

Снижение эффекта Гартмана путем изоляции стенок канала. Использование в качестве теплоносителей флайбов..

3.3. Темы практических занятий

1. Способы снижения негативного влияния магнитного поля в теплообменных системах;
2. Особенности экспериментальных методов определения параметров течения и теплообмена жидких металлов в магнитном поле;
3. Методы и подходы к моделированию турбулентных МГД-течений;
4. Гидродинамика и теплообмен при течении электропроводных сред в поперечном

магнитном поле;

5. Гидродинамика и теплообмен при течении электропроводных сред в продольном магнитном поле;
6. Влияние магнитного поля на турбулентное течение;
7. Теплообмен в задаче Гартмана;
8. Уравнение движения и энергии в приближении магнитной газодинамики;
9. Закон сохранения энергии электромагнитного поля;
10. Граничные условия уравнений электродинамики;
11. Интегральная форма уравнений Максвелла;
12. Уравнения Максвелла. Закон Ома;
13. Режимы работы МГД-канала;
14. Особенности использования расплавов солей в качестве теплоносителей в blankets;
15. Ламинарное течение несжимаемой жидкости в плоском канале в поперечном магнитном поле (задача Гартмана);
16. Системы удержания плазмы в магнитном поле: токамак. Проблемы теплообмена.

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

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	5	6	7		
Знать:										
Методы расчета гидродинамики и теплообмена при течении электропроводных сред в магнитных полях	ИД-2ПК-2				+	+				Перекрестный опрос/Коллоквиум "Ламинарные и турбулентные магнитогидродинамические течения в каналах"
Особенности проблем магнитной газодинамики применительно к теплогидравлическим процессам в энергетическом оборудовании	ИД-2ПК-2								+	Перекрестный опрос/Коллоквиум "МГД-проблемы жидкометаллических теплоносителей в теплообменных системах"
Уметь:										
Анализировать и обосновывать выбор оптимальных параметров жидкометаллических теплообменных систем, работающих в магнитных полях	ИД-2ПК-2								+	Перекрестный опрос/Коллоквиум "Обобщение экспериментальных данных МГД-течения и теплообмена в каналах"
Ставить и решать задачи магнитной газодинамики	ИД-2ПК-2	+	+	+						Перекрестный опрос/Коллоквиум "Математическое описание процессов магнитной газодинамики"

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: Устная форма

1. Коллоквиум "Ламинарные и турбулентные магнитогидродинамические течения в каналах" (Перекрестный опрос)
2. Коллоквиум "Математическое описание процессов магнитной газодинамики" (Перекрестный опрос)
3. Коллоквиум "МГД-проблемы жидкометаллических теплоносителей в теплообменных системах" (Перекрестный опрос)
4. Коллоквиум "Обобщение экспериментальных данных МГД-течения и теплообмена в каналах" (Перекрестный опрос)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №3)

Используется только промежуточная аттестация

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. Генин, Л. Г. Гидродинамика и теплообмен МГД-течений в каналах / Л. Г. Генин, В. Г. Свиридов . – М. : Изд-во МЭИ, 2001 . – 200 с. - ISBN 5-7046-0650-4 .;
2. Куликовский, А. Г. Магнитная гидродинамика : учебное пособие для вузов по группе направлений и специальностей "Механика" / А. Г. Куликовский, Г. А. Любимов, Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова (МГУ) . – 3-е изд. . – М. : Логос, 2011 . – 328 с. – (Классический университетский учебник) . - 250 лет МГУ им. М.В. Ломоносова . - ISBN 978-5-94010-556-5 .;
3. Кирко, И. М. Магнитная гидродинамика. Современное видение проблем / И. М. Кирко, Г. Е. Кирко . – М. : Ин-т компьютер. исслед. ; Ижевск : РХД, 2009 . – 632 с. - ISBN 978-5-93972-752-5 .;
4. Брановер, Г. Г. Магнитная гидродинамика несжимаемых сред / Г. Г. Брановер, А. Б. Цинобер . – М. : Наука, 1970 . – 379 с.;
5. Котельников И. А.- "Магнитная гидродинамика" Т. 2, (3-е изд., испр. И доп.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2021 - (448 с.)
<https://e.lanbook.com/book/165806>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. SmathStudio;
2. Libre Office;

3. ОС Linux.

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

1. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Т-417, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Т-417, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Т-417, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный
Помещения для самостоятельной работы	Т-412, Учебная лаборатория вычислительной техники	стол преподавателя, стол учебный, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная, компьютер персональный
Помещения для консультирования	Т-205, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, доска маркерная
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Т-213, Подсобное помещение	

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Магнитная газодинамика

(название дисциплины)

3 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Коллоквиум "Математическое описание процессов магнитной газодинамики"
(Перекрестный опрос)
- КМ-2 Коллоквиум "Ламинарные и турбулентные магнитогидродинамические течения в каналах"
(Перекрестный опрос)
- КМ-3 Коллоквиум "Обобщение экспериментальных данных МГД-течения и теплообмена в каналах" (Перекрестный опрос)
- КМ-4 Коллоквиум "МГД-проблемы жидкометаллических теплоносителей в теплообменных системах" (Перекрестный опрос)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	5	9	13	16
1	Предмет магнитной газодинамики и ее практические приложения					
1.1	Введение в магнитную газодинамику		+			
2	Система уравнений электромагнитной газодинамики					
2.1	Уравнения электромагнитной газодинамики.		+			
2.2	Интегральная форма уравнений Максвелла.		+			
3	Система уравнений магнитной газодинамики					
3.1	Магнитогазодинамические приближения уравнений электромагнитной газодинамики		+			
3.2	Уравнение индукции и его анализ. Проблема МГД-динамо		+			
4	Ламинарные магнитогидродинамические течения в каналах					
4.1	Ламинарное течение в плоском канале в поперечном магнитном поле (задача Гартмана)			+		
4.2	Теплообмен в задаче Гартмана.			+		
5	Турбулентные магнитогидродинамические течения					
5.1	Воздействие магнитного поля на турбулентные течения:			+		

5.2	Гидродинамики и теплообмен при течении в круглой трубе в продольном магнитном поле.		+		
5.3	Гидродинамика и теплообмен при турбулентном течении в плоском канале в поперечном магнитном поле.		+		
6	Обобщение экспериментальных данных. Расчетные соотношения для коэффициентов сопротивления и теплоотдачи при течении электропроводных жидкостей в магнитных полях				
6.1	Течения в продольном магнитном поле.			+	
6.2	Течения в поперечном магнитном поле.			+	
7	Магнитогидродинамические проблемы использования жидкометаллических теплоносителей для отвода тепла из blankets токамака и возможные пути их решения				
7.1	Снижение влияния эффекта Гартмана				+
7.2	Влияние проводимости стенок канала.				+
Вес КМ, %:		25	25	25	25