



Утвърдил: .....

Декан

Дата .....

## СОФИЙСКИ УНИВЕРСИТЕТ "СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ"

**Факултет: Физически**

Специалност: (код и наименование)

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

.Физика

**Магистърска програма: (код и наименование)**

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Ядрена енергетика и технологии

### УЧЕБНА ПРОГРАМА

Дисциплина: 

--	--	--	--

ТОПЛОФИЗИКА НА ЯЕЦ

(код и наименование)

**Преподавател: доц. д-р Павлин Петков Грудев**

Асистент:

Учебна заетост	Форма	Хорариум
Аудиторна заетост	Лекции	30
	Семинарни упражнения	15
	Практически упражнения (хоспитиране)	
<b>Обща аудиторна заетост</b>		<b>45</b>
Извънаудиторна заетост	Самостоятелна подготовка за една контролна работа	30
	Самостоятелна работа с библиографски ресурси и подготовка за изпит	60
<b>Обща извънаудиторна заетост</b>		<b>90</b>
<b>ОБЩА ЗАЕТОСТ</b>		<b>135</b>
<b>Кредити аудиторна заетост</b>		<b>1.5</b>
<b>Кредити извънаудиторна заетост</b>		<b>3.0</b>
<b>ОБЩО ЕКСТ</b>		<b>4.5</b>

№	Формиране на оценката по дисциплината	% от оценката
1.	Една контролна работа върху текущия материал	30
2.	Изпит	70

#### **Анотация на учебната дисциплина:**

Целта на курса е да се дадат познания за закономерностите и физичните основи на топлообменните процеси и по-специално на преноса на топлина чрез “Топлопроводност” и “Конвективен топлообмен”. В материала е изложено пресмятането на температурното поле и топлинния поток през тела с проста геометрична форма, които се използват като елементи в ядрената енергетика. В курса са представени термохидравлични пресмятания на различни канали, активна зона и циркуляционни контури на реактори с принудителна и естествена циркуляция. Тези пресмятания се свързват с топлотехническата надеждност на активната зона, както и с ядрената безопасност на централите. В курса са представени основните проблеми и особености на топлообмена в ядрените реактори. Особено внимание е отделено на термохидравличните процеси в ЯЕЦ при различни аварийни режими. Курсът дава познания върху механизма на възникване на кризис на топлообмен, който е сложен топлофизичен проблем и има съществена роля при определянето на критериите за безопасна експлоатация на ЯЕЦ.

Практическите занятия се състоят във физическа интерпретация на топлофизичните процеси, които се развиват при ядрена авария (малка теч, теч от първи към втори контур и др.), както и пресмятания на стационарни състояния на активната зона, парогенераторите и др.

#### **Предварителни изисквания:**

- Основи на термодинамиката и термохидравликата.
- Основни компоненти и конструкции на ЯЕЦ, основни системи за контрол и управление на ЯЕЦ, в това число основните системи за безопасност. Основни характеристики на ЯЕЦ.

#### **Очаквани резултати:**

Студентите, завършили успешно курса по Топлофизика на ЯЕЦ, могат да:

- анализират развитието на физичните процеси в ЯЕЦ;
- класифицират различни аварийни ситуации;
- изказват мотивирани предположения за развитието и последствията при различни аварийни състояния на ЯЕЦ;
- пресмятат температурните полета в топлоотделящите елементи (ТОЕ) и в топлинните канали за стационарно състояние;
- да извършват термохидравлично пресмятане на водо-воден реактор за

<p>стационарно състояние;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- изказват мнения за топлофизичните характеристики на различни проекти на АЕЦ, и влиянието им върху безопасността и конструктивните характеристики;</li> <li>- пресмятат различни топлообменни процеси както за целите на ЯЕЦ (АЕЦ) така и за други области;</li> <li>- анализират безопасността и надеждността на различни ядрени системи от гледна точка на възможността за надеждно топло отвеждане.</li> </ul>
---

### *Учебно съдържание*

#### **Лекции**

	Тема, вид на занятието:	Брой часове
1	Въведение: проблеми и особености на топлообмена в ядрената енергетика; термохидравлични процеси в ядрените реактори.	2
2	Общи сведения по теория на топлообменните процеси. Основни начини на разпространение на топлината. Теплопроводност (кондукция). Температурно поле и температурен градиент. Закон на Фурие. Топлинен поток и коефициент на теплопроводност. Диференциално уравнение на теплопроводността. Теплопроводност при частни случаи.	4
3	Конвективен топлообмен (топлопредаване). Ламинарен и турбулентен поток. Закон на Нютон – Рихман. Диференциални уравнения на конвективния топлообмен. Теория на подобие. Критерии на подобие при конвективния топлообмен. Критериални уравнения (уравнения на подобие). Конвективен топлообмен при частни случаи.	5
4	Хидродинамична характеристика на топлоотделящите канали (изследване на еднофазен и двуфазен топлоносител при принудителна циркулация). Основни характеристики на двуфазния поток. Конвективен топлообмен при принудително движение в тръби и канали. Кризис на топлообмена от първи и втори род и методи за определянето му.	4
5	Топлоотделяне и топлообмен в ядрените реактори. Основни уравнения на топлинната мощност на реактора. Топлинно пресмятане на хомогенен ядрен реактор - цел, изходна информация и алгоритъм на пресмятането.	3
6	Термохидравлично пресмятане на активната зона на ядрен реактор и единичен канал – топлоотделяща касета. Алгоритъм за пресмятане на единичен канал – изменение на температурата на топлоносителя по дължина на канала. Пресмятане на температурата на обвивката на топлоотделящ елемент. Разпределение на температурите в радиално и аксиално направление в	4

	топлоотделящите елементи.	
7	Хидродинамична характеристика на каналите на активната зона при принудителна циркулация в корпусни кипящи реактори. Особености на термохидравличното пресмятане на активната зона на кипящи реактори. Хидродинамични процеси в условията на естествена циркулация в корпусни кипящи реактори.	4
8	Термохидравлични процеси в ЯЕЦ при аварийни режими. Типове аварийни режими - класификация. Изчислителни кодове за пресмятане. Авария на водо-воден реактор със загуба на топлоносител при голямо и малко разкъсване. Физическа интерпретация на резултатите. Оценка на последствията от аварията за ЯЕЦ.	4

### **Упражнения**

№	Тема, вид на занятието:	Брой часове
1	Стационарна топлопроводност при плоска, цилиндрична и сферична стена.	2
2	Конвективен топлообмен. Определяне на коефициента на конвективен топлообмен при свободно и принудително течение в тръби и канали.	2
3	Топлообмен при кипене. Объемно и повърхностно кипене и крива на кипенето. Режими на течение на двуфазния поток. Режими на топлообмен между флуида и топлоотделящ елемент.	3
4	Пример за топлохидравлично пресмятане на водоводен реактор ВВЕР 1000 при стационарен режим.	3
5	Температурни полета в урановото гориво на ТОЕ. Хидравлични характеристики на активната зона на ВВЕР при различни експлоатационни и аварийни режими.	5
6	<i>Контролна работа</i>	

### **Конспект за изпит**

№	Въпрос
1.	Проблеми и особености на топлообмена в ядрената енергетика – топлоотделяне и топлоотвеждане. Плътност на топлинния поток. Основни фактори, които определят конструкцията на активната зона на ядрения реактор.

2.	Основни уравнения за топлинната мощност на реактора. Неравномерност на плътността на топлинния поток.
3.	Термохидравлично пресмятане на топлоотделяща касета. Алгоритъм за пресмятане на единичен канал – изменение на температурата на топлоносителя по дължина на канала.
4.	Типове аварийни режими – класификация (представяне и анализ на пет групи по избор). Критични функции на безопасността. Критерии за приемливост.
5.	Авария на водо-воден реактор със загуба на топлоносител при голямо разкъсване. Интерпретация на резултатите – анализ на изменението на основните параметри.
6.	Конвективен топлообмен (топлопредаване). Ламинарен и турбулентен поток. Закон на Нютон – Рихман. Диференциални уравнения на конвективния топлообмен.
7.	Основни характеристики на двуфазния поток. Хидродинамични процеси в условията на естествена циркулация в корпусни кипящи реактори.
8.	Конвективен топлообмен при принудително движение в тръби и канали. Кризис на топлообмена от първи и втори род и методи за определянето му.
9.	Термохидравлични процеси в ЯЕЦ при аварийни режими и физическа интерпретация на резултатите. Оценка на последствията от аварията за ЯЕЦ.
10.	Диференциално уравнение на топлопроводността. Теплопроводност при частни случаи.
11.	Анализ на аварии от типа: намаляване на разхода на топлоносител през активната зона. Критерии за приемливост.
12.	Закон на Фурие. Температурно поле и температурен градиент. Топлинен поток и коефициент на топлопроводност. Диференциално уравнение на топлопроводността.
13.	Интерпретация и анализ на авария на водо-воден реактор със загуба на топлоносител при голямо разкъсване. Критерии за приемливост.
14.	Термохидравлично пресмятане на активната зона на ядрен реактор. Кризис на топлообмена.
15.	Авария на водо-воден реактор със загуба на топлоносител при малко разкъсване. Анализ на очакваното поведение на основните параметри. Критерии за приемливост.
16.	Хидродинамична характеристика на топлоотделящите канали (изследване на еднофазен и двуфазен топлоносител при принудителна циркулация).
17.	Топлинно пресмятане на хомогенен ядрен реактор - цел, изходна информация и алгоритъм на пресмятането.
18.	Теория на подобие. Критерии на подобие при конвективния топлообмен.
19.	Особености на термохидравличното пресмятане на активната зона на кипящи реактори.
20.	Кипене – механизъм на кипенето и видове кипене. Кризис на топлообмена от първи и втори род. Кризис на топлообмен при кипене в канали.

21.	Хидродинамична характеристика на каналите на активната зона при принудителна циркулация в корпусни кипящи реактори.
22.	Определения на ламинарен и турбулентен поток в кръгла тръба. Особенности на конвективния топлообмен. Коэффициентът на топлопредаване $\alpha$ .

### **Библиография**

#### **Основна:**

1. Кириллов П.Л., Богословская, Тепломасообмен в ядерных энергетических установках, М., Энергоатомиздат, 2000
2. Сендов С., Тепло- и масопредаване, “Техника”, София, 1993
3. Узунов Д. Топлотехника, “Техника”, С. 1990.
4. Дементиев Б.А. Ядерные энергетические реакторы, М., Энергоатомиздат, 1984
5. Петухов Б.С. и др., Теплообмен в ядерных энергетических установках, М., Энергоатомиздат, 1986
6. Полянин Л.Н., М.Г.Ибрагимов, Г.И. Собелев. Теплообмен в ядерных реакторов. М., Энергоиздат, 1982г.
7. Глухов Г.А., Ядрени енергийни реактори, “Техника”, София, 1979, ИФО Дизайн, 2004.
8. Клемин А.И., Л.Н.Полянин, М.М.Стригулин. Теплогидравлический расчет и теплотехническая надежность ядерных реакторов. М., Атомиздат, 1980 .
9. Субботин В.И. и др. Гидродинамика и теплообмен в атомных энергетических установках. М., Атомиздат, 1975 .
10. Тонг Л., Кризис кипения и критический тепловой поток, М., Атомиздат, 1976

#### **Допълнителна:**

1. Делайе Дж., М.Гио, М.Ритмюлер. Теплообмен и гидродинамика в атомной и тепловой энергетике. М., Энергоатомиздат, 1984 .
2. Lahey R.T., Moody F.J., The Thermal Hydraulics of a Boiling Water Reactor, ANS, 1979
3. Кромеров А.Я., Шевелев Я.В., Инженерные расчеты ядерных реакторов. М., Энергоатомиздат, 1984 .
4. Иванов В., Михайлов М., Теплопредаване, “Техника”, София, 1978
5. Опрев М., Батов С., Узунов Д., Топлотехника, “Техника”, София, 1978

6. Михайлов М. и др., Термодинамика и топлопренасяне, “Техника”, София, 1990
7. Tong L. S., Boiling Heat Transfer and Two - Phase Flow, John Wiley, New York, 1965
8. Butterworth D., Hewitt G.F., Two-Phase Flow and Heat Transfer, Oxford University Press 1977

**Дата: 6.03.2013**

***Съставил:***  
доц. д-р Павлин Петков Грудев