



## ЦЕНТЪР ЗА ОБУЧЕНИЕ – БАН

1000 София  
ул. „Сердика“ № 4  
<http://edu.bas.bg>

email: [tdc-phd@cu.bas.bg](mailto:tdc-phd@cu.bas.bg)  
тел.: 02 987 31 67  
02 979 52 60

### Основна информация:

Име на курса: . **ТОПЛОФИЗИКА НА ЯЕЦ**

Лектор: **проф. дн Павлин Грудев**

Телефон: . 359 888 955 385

Имейл: . [groudev@mail.bg](mailto:groudev@mail.bg)

Хорариум: . 45 учебни часа.

### Анотация (до 150 думи):

Целта на курса е да се дадат познания за закономерностите и физичните основи на топлообменните процеси в ядрените електрически централи (ЯЕЦ) 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 циркулационни контури на реактори с принудителна и естествена циркулация. 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.

Успешно завършилите курса по Топлофизика на ЯЕЦ трябва да могат да правят физическа интерпретация на топло - физичните процеси, които се развиват при възникване на ядрена авария (в резултат на различни течове, теч от първи към втори контур, реактивностни аварии. пълна загуба на електрозахранване и др.), както и да анализират успешно пресмятания на стационарни и аварийни състояния на активната зона, както и интегрални пресмятания на първи и втори контури.

Докторантите, завършили успешно курса ще могат да анализират развитието на физичните процеси в ЯЕЦ, да класифицират различни аварийни ситуации, както и изказват мотивирани предположения за развитието и последствията при различни аварийни състояния на ЯЕЦ.

### Тематично съдържание на курса (кратко описание по теми или модули):

Тема / Модул 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.

Тема / Модул 2: Основни уравнения за топлинната мощност на реактора. Неравномерност на плътността на топлинния поток.



## **ЦЕНТЪР ЗА ОБУЧЕНИЕ – БАН**

1000 София  
ул. „Сердика“ № 4  
<http://edu.bas.bg>

email: [tdc-phd@cu.bas.bg](mailto:tdc-phd@cu.bas.bg)  
тел.: 02 987 31 67  
02 979 52 60

Тема / Модул 3: Термохидравлично пресмятане на топлоотделяща касета. Алгоритъм за пресмятане на единичен канал – изменение на температурата на топлоносителя по дължина на канала.

Тема / Модул 4: Типове аварийни режими – класификация. Критични функции на безопасността. Критерии за приемливост.

Тема / Модул 5: Конвективен топлообмен (топлопредаване). Ламинарен и турбулентен поток. Закон на Нютон – Рихман. Диференциални уравнения на конвективния топлообмен.

Тема / Модул 6: Основни характеристики на двуфазния поток. Хидродинамични процеси в условията на естествена циркулация в корпусни кипящи реактори.

Тема / Модул 7: Конвективен топлообмен при принудително движение в тръби и канали. Кризис на топлообмена от първи и втори род и методи за определянето му.

Тема / Модул 8: Термохидравлични процеси в ЯЕЦ при аварийни режими и физическа интерпретация на резултатите. Оценка на последствията от аварията за ЯЕЦ.

Тема / Модул 9: Диференциално уравнение на топлопроводността. Теплопроводност при частни случаи.

Тема / Модул 10: Закон на Фурие. Температурно поле и температурен градиент. Топлинен поток и коефициент на топлопроводност. Диференциално уравнение на топлопроводността.

Тема / Модул 11: Термохидравлично пресмятане на активната зона на ядрен реактор. Кризис на топлообмена.

Тема / Модул 12: Хидродинамична характеристика на топлоотделящите канали (изследване на еднофазен и двуфазен топлоносител при принудителна циркулация).

Тема / Модул 13: Топлинно пресмятане на хомогенен ядрен реактор - цел, изходна информация и алгоритъм на пресмятането.

Тема / Модул 14: Теория на подобие. Критерии на подобие при конвективния топлообмен.

Тема / Модул 15: Особенности на термохидравличното пресмятане на активната зона на кипящи реактори.

Тема / Модул 16: Кипене – механизъм на кипенето и видове кипене. Кризис на топлообмена от първи и втори род. Кризис на топлообмен при кипене в канали.

Тема / Модул 17: Хидродинамична характеристика на каналите на активната зона при принудителна циркулация в корпусни кипящи реактори.



## ЦЕНТЪР ЗА ОБУЧЕНИЕ – БАН

1000 София  
ул. „Сердика“ № 4  
<http://edu.bas.bg>

email: [tdc-phd@cu.bas.bg](mailto:tdc-phd@cu.bas.bg)  
тел.: 02 987 31 67  
02 979 52 60

Тема / Модул 18: Определения на ламинарен и турбулентен поток в кръгла тръба. Особенности на конвективния топлообмен. Коефициентът на топлопредаване  $\alpha$ .

Тема / Модул 19: Реактивностна авария на водо-воден реактор. Физическа интерпретация на резултатите. Анализ на очакваното поведение на основните параметри. Критерии за приемливост.

Тема / Модул 20: Авария на водо-воден реактор със загуба на топлоносител при малко / голямо разкъсване. Анализ на очакваното поведение на основните параметри. Критерии за приемливост.

Тема / Модул 21: Анализ на аварии от типа: намаляване на разхода на топлоносител през активната зона. Анализ на очакваното поведение на основните параметри. Критерии за приемливост.

Тема / Модул 22: Физическа интерпретация на резултатите при между - системен теч на водо-воден ядрен реактор. Анализ на очакваното поведение на основните параметри. Критерии за приемливост.

### Форми на обучение и оценяване:

Присъствено. Виртуално (онлайн).

### Компетентности, придобити в резултат на обучението (3-5 точки):

5 Точки

### Литература:

1. Кириллов П. Л., Богословская, Теплообмен 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 реакторах. М., Энергоиздат, 1982г.
7. Глухов Г.А., Ядрени енергийни реактори, “Техника”, София, 1979
8. Клемин А.И., Л.Н. Полянин, М.М., Стригулин. Тепло гидравлический 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
11. Димитров А., Съвременна топлотехника и енергетика, ISBN 9789541201831, София, 2011 г.



## ЦЕНТЪР ЗА ОБУЧЕНИЕ – БАН

1000 София  
ул. „Сердика“ № 4  
<http://edu.bas.bg>

email: [tdc-phd@cu.bas.bg](mailto:tdc-phd@cu.bas.bg)  
тел.: 02 987 31 67  
02 979 52 60

12. Безродный М. К. и др., Процессы переноса в двухфазных термосифонных системах, Теория и практика, Киев, Факт, 2005,
13. Делайе Дж., М. Гио, М. Ритмюлер. Теплообмен и гидродинамика в атомной и тепловой энергетике. М., Энергоатомиздат, 1984 .
14. Lahey R.T., Moody F.J., The Thermal Hydraulics of a Boiling Water Reactor, ANS, 1979
15. Кромеров А.Я., Шевелев Я.В., Инженерные расчёт ядерных реакторов. М., Энергоатомиздат, 1984 .
16. Иванов В., Михайлов М., Теплопренасяне, “Техника”, София, 1978
17. Опрев М., Батов С., Узунов Д., Топлотехника, “Техника”, София, 1978
18. Михайлов М. и др., Термодинамика и теплопренасяне, “Техника”, София, 1990
19. Tong L. S., Boiling Heat Transfer and Two - Phase Flow, John Wiley, New York, 1965
20. Butterworth D., Hewitt G.F., Two-Phase Flow and Heat Transfer, Oxford University Press 1977
21. Groudev, P.P., Georgieva, E.L, (2010), Loss of 'Core cooling' at low power and cold condition of VVER-1000/V320, Progress in Nuclear Energy, 52, pages 229–235, <http://dx.doi.org/10.1016/j.pnucene.2009.06.017>
22. M.P. Pavlova, M. Andreeva and P.P. Groudev, (2007), RELAP5/MOD3.2 blackout investigation for validation of EOPs for KNPP VVER-1000/V320, Progress in Nuclear Energy, Volume 49, Issue 5, Pages 409-427, <http://dx.doi.org/10.1016/j.pnucene.2007.06.001>
23. Pavlin GRUDEV, Malinka PAVLOVA, (2004), Simulation of loss-of-flow transient in a VVER-1000 nuclear power plant with RELAP5/MOD3.2, Progress in Nuclear Energy (PNE), Volume 45, Issue 1, pp. 1 - 10, <http://dx.doi.org/10.1016/j.pnucene.2004.08.001>
24. Pavlin P. Groudev, Rositsa V Gencheva, Antoaneta E. Stefanova and Malinka P. Pavlova, (2004), RELAP5/MOD3.2 investigation of primary-to-secondary reactor coolant leakage in VVER440, Annals of Nuclear Energy (ANE), Vol. 31 pages 961-974, January 2004, <http://dx.doi.org/10.1016/j.anucene.2004.01.001>

**Допълнителна информация (по желание)** (например: специални изисквания, лабораторно оборудване, предварителни знания):

Необходимо е докторанта да има общи познания за основното оборудване, системите и конструкциите на ядрените електрически централи, които са обект на анализа.