

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

О.Н. Здрок

« 30 » сентября 2020 г.

Регистрационный № УД-8559/уч.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВКАХ**

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:**

1-31 04 06 Ядерные физика и технологии

Специализация 1-31 04 06 03

Физика ядерных реакторов и атомных энергетических установок

Минск 2020

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта специальности 1-31 04 06 «Ядерная физика и технологии»
ОСВО 1-31 04 0 6 – 2013 от 30.08.2013 № 88 и учебного плана № G31-229/уч.
от 20.03.2019.

СОСТАВИТЕЛЬ:

О.В. Семенович – старший преподаватель кафедры ядерной физики физического факультета Белорусского государственного университета.

РЕЦЕНЗЕНТ:

П.С. Гринчук, заведующий отделением теплофизики Государственного научного учреждения «Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси», член-корреспондент НАН Беларуси, доктор физико-математических наук.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой ядерной физики физического факультета Белорусского государственного университета
(протокол № 11 от 21 мая 2020 г.);

Научно-методическим Советом БГУ
(протокол № 5 от 17 июня 2020 г.).

Заведующий кафедрой ядерной физики
к. ф.-м. н., доцент

_____ А.И. Тимощенко

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – усвоение студентами •основ методик математического моделирования физических (теплофизических, в частности) процессов в реакторных установках (РУ) и , в первую очередь, РУ с реакторами с водой под давлением (PWR, ВВЭР); •построения дискретных аналогов математических моделей; •вычислительных методов, применяемых для численной реализации названных моделей.

Задачи учебной дисциплины:

–ознакомить обучающихся с предметом дисциплины «Математическое моделирование физических процессов в реакторных установках»;

–ознакомить обучающихся с основами методик математического моделирования физических (теплофизических, в частности) процессов в реакторных установках (РУ) и , в первую очередь, РУ с реакторами с водой под давлением (PWR, ВВЭР);

– систематически изложить обучающимся основные сведения о способах построения дискретных аналогов математических моделей; вычислительных методах, применяемых для численной реализации названных моделей; особенностях их алгоритмической реализации;

– способствовать развитию научного мировоззрения обучающихся.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием

Учебная программа «Математическое моделирование физических процессов в реакторных установках» относится к циклу дисциплин специализации компонента учреждения высшего образования. Настоящая программа является оригинальной и разработана с учетом соответствующих требований образовательного стандарта специальности 1-31 04 06 «Ядерные физика и технологии» (ОСВО 1-31 04 06-2013).

Дисциплина позволяет сформировать широкий кругозор в вопросах математического моделирования физических процессов, протекающих в реакторной установке и ядерном реакторе и его конструкционных элементах; дать базовые сведения о методах построения дискретных аналогов, основных положениях численных методов, применяемых в задачах реакторной физики. Полученные знания и навыки составят базис, необходимый для успешного освоения и применения методов и средств детерминистического анализа безопасности ядерных энергетических установок.

Связи с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования, дисциплины специализации и др.

Учебный материал дисциплины основан на базовых знаниях и представлениях, заложенных в дисциплинах «Математический анализ», «Дифференциальный и интегральные уравнения», «Методы математической физики», «Ядерные энергетические установки», «Физика ядерных реакторов»,

«Тепломассоперенос в ядерных энергетических установках», «Термогидродинамика переходных и аварийных режимов реакторных установок», «Теплотехническое оборудование атомных электростанций».

Из множества эффективных педагогических методик и технологий, которые способствуют вовлечению обучающихся в поиск и управление знаниями, приобретению опыта самостоятельного решения разнообразных задач, следует выделить:

- технологии проблемно-модульного обучения;
- технологии научно-исследовательской деятельности;
- проблемно-ориентированный междисциплинарный подход;
- интенсивное обучение;
- моделирование проблемных ситуаций и их решение.

Для формирования современных социально-личностных и профессиональных компетенций выпускника вуза в практику проведения занятий целесообразно внедрять методики активного обучения и дискуссионные формы.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

знать:

- основные методики математического моделирования физических (теплофизических, в частности) процессов в реакторных установках (РУ) и , в первую очередь, РУ с реакторами с водой под давлением (PWR, ВВЭР);
- способы построения дискретных аналогов математических моделей;
- основы вычислительных методов, применяемых для численной реализации названных моделей;
- базовые сведения об особенностях алгоритмической и программной реализации численных схем.

уметь:

- выбирать, модернизировать в случае необходимости, методику моделирования, необходимую для решения поставленной научно-технической задачи;
- выбирать, модернизировать в случае необходимости, способ построения дискретного аналога используемой математических моделей;
- анализировать вычислительные методы, применяемые для численной реализации названных моделей; модернизировать, в случае необходимости, используемые численные схемы;
- анализировать алгоритмы и программные средства, реализующие выбранные модель и методику.

владеть:

- навыками модернизации и разработки алгоритмов и программных модулей больших программных комплексов и самостоятельных программ средней величины (по количеству операторов).

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Математическое моделирование физических процессов в реакторных установках» должно обеспечить формирование следующих академических, социально-личностных и профессиональных компетенций.

Академические компетенции:

АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.

АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.

АК-3. Владеть исследовательскими навыками.

АК-4. Уметь работать самостоятельно.

АК-5. Быть способным вырабатывать новые идеи (креативность).

АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.

АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

АК-8. Иметь лингвистические навыки (устная и письменная коммуникация).

АК-9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

Социально-личностные компетенции:

СЛК-1. Обладать качествами гражданственности.

СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.

СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.

СЛК-5. Быть способным к критике и самокритике (критическое мышление).

СЛК-6. Уметь работать в команде.

Профессиональные компетенции:

ПК-1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ ядерной физики и ядерных технологий, ядерно-физических методов исследования, методов измерения физических величин, методов автоматизации эксперимента, методов планирования, организации и ведения научно-производственной, научно-педагогической, производственно-технической, опытно-конструкторской работы в области ядерно-физических технологий и атомной энергетики.

ПК-2. Осуществлять на основе методов математического моделирования оценку производственных процессов.

ПК-3. Пользоваться компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного программирования, научно-технической и патентной литературой.

ПК-4. Взаимодействовать со специалистами смежных профилей.

ПК-5. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-технической работы.

ПК-6. Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологий, оборудование и аппаратуру в исследовательской, научно-педагогической и производственной деятельности.

ПК-7. Разрабатывать и оптимизировать ядерно-физические технологии в энергетике и промышленности.

ПК-9. Пользоваться глобальными информационными ресурсами.

ПК-10. Пользоваться государственными языками Республики Беларусь и иными иностранными языками как средством делового общения.

ПК-12. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 10 семестре. Форма получения высшего образования – очная, дневная.

Всего на изучение учебной дисциплины «Математическое моделирование физических процессов в реакторных установках» отведено: 88 часов, в том числе 32 аудиторных часа, из них: лекции – 24 часа, управляемая самостоятельная работа – 8 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 2,5 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации по учебной дисциплине – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Задачи математического моделирования физических процессов в реакторных установках: модели, методики.

Классификация задач моделирования физических процессов в реакторных установках. Задачи реакторной теплофизики. Модели теплогидравлических системных реалистических расчётных кодов. Модели пористого тела. Субканальные модели. Моделирование турбулентности. Моделирование термомеханических процессов в конструкционных элементах.

Тема 2. Методы построения дискретных аналогов.

Конечно-разностные методы; методы контрольных объёмов. Метод конечных элементов: основные положения, типы конечных элементов; основные этапы алгоритмической реализации.

Тема 3. Численные методы, применяемые для решения дискретных аналогов.

Методы решения систем уравнений дискретных аналогов: системы нелинейных уравнений; системы линейных уравнений; учёт специфики матриц систем: симметричность, сильная разреженность, плохая обусловленность.

Тема 4. Программные средства детерминистического анализа.

Классификация программных средств детерминистического анализа безопасности ядерных энергетических установок. Расчётные коды для решения термогидродинамических задач детерминистического анализа безопасности. Основные аспекты подготовки исходных данных и анализа результатов расчётов; программы пре- и пост-процессорной обработки информации.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы, занятия	Название темы занятия; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов					Литература	Формы контроля знаний
		лекции	практические занятия	Семинарские занятия	лабораторные занятия	управляемая самостоятельная работа студента		
1	2		4	5	6	7	8	9
1.	Задачи математического моделирования физических процессов в реакторных установках: модели, методики. Классификация задач моделирования физических процессов в реакторных установках. Задачи реакторной теплофизики. Модели теплогидравлических системных реалистических расчётных кодов. Модели пористого тела. Субканальные модели. Моделирование турбулентности. Моделирование термомеханических процессов в конструкционных элементах.	6					[1– 3; 12– 15; 4д– 8д]	выборочный контроль
2.	Методы построения дискретных аналогов. Конечно-разностные методы; методы контрольных объёмов. Метод конечных элементов: основные положения, типы конечных элементов; основные этапы алгоритмической реализации.	8					[4– 8; 13; 1д– 3д]	выборочный контроль

3.	Численные методы, применяемые для решения дискретных аналогов. Методы решения систем уравнений дискретных аналогов: системы нелинейных уравнений; системы линейных уравнений; учёт специфики матриц систем: симметричность, сильная разреженность, плохая обусловленность.	8				2	[10, 11]	Контрольная работа по темам 1– 3
4.	Программные средства детерминистического анализа. Классификация программных средств детерминистического анализа безопасности ядерных энергетических установок. Расчётные коды для решения термодинамических задач детерминистического анализа безопасности. Основные аспекты подготовки исходных данных и анализа результатов расчётов; программы пре- и пост-процессорной обработки информации.	2				6	[1; 12– 15; 8д]	Реферативная работа
	ИТОГО	24				8		Экзамен

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Семенович, О.В. Термогидродинамика переходных и аварийных режимов реакторных установок: учеб. пособие / О.В. Семенович. – Минск: Вышэйшая школа, 2016. – 239 с.
2. Семенович, О.В. Введение в теплофизику ядерных энергетических установок: пособие. В 2 ч. Ч.1. Основы теории тепломассопереноса / О.В. Семенович. – Минск: БГУ, 2016. – 135 с.
3. Семенович, О.В. Введение в теплофизику ядерных энергетических установок: пособие. В 2 ч. Ч.2. Тепломассоперенос в оборудовании реакторных установок / О.В. Семенович. – Минск: БГУ, 2017. – 191 с.
4. Годунов С. К., Рябенкий В. С. Разностные схемы (введение в теорию). – М., Наука. – 1977. – 439 с.
5. Андерсон, Д. Вычислительная гидродинамика и теплообмен: в 2-х т. / Д. Андерсон, Дж. Таннехилл, Р. Плетчер. – М.: Мир, 1990. – Т. 1. – 384 с.
6. Андерсон, Д. Вычислительная гидродинамика и теплообмен: в 2-х т. / Д. Андерсон, Дж. Таннехилл, Р. Плетчер. – М.: Мир, 1990. – Т. 2. – 392 с.
7. Сегерлинд, Л. Применение метода конечных элементов / Л. Сегерлинд. – М.: Мир, 1979. – 392 с.
8. Норри, Д. Введение в метод конечных элементов / Д. Норри, Ж. де Фриз. – М.: Мир, 1981. – 304 с.
9. Зенкевич, О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация / О. Зенкевич, К. Морган. – М.: Мир, 1986. – 318 с.
10. Джордж, А. Численное решение больших разреженных систем уравнений / А. Джордж, Дж. Лю. – М.: Мир, 1984. – 333 с.
11. Писсанецки, С. Технология разреженных матриц / С. Писсанецки. – М.: Мир, 1988. – 410 с.
12. Семенович, О.В. Сравнительный анализ современных теплогидравлических системных реалистических расчётных кодов / О.В. Семенович, А.В. Дойникова, В.А. Шапоров. – Минск, 2015. – 48 с. – (Препринт / НАН Беларуси. Объединенный ин-т энергет. и ядер. исслед.–Сосны; ОИЭЯИ-69).
13. Семенович, О.В. Анализ систем решаемых уравнений математических моделей теплогидравлического системного реалистического расчётного кода ATHLET/Mod2.2 / О.В. Семенович, А.В. Дойникова, В.А. Шапоров. – Минск, 2015. – 48 с. – (Препринт / НАН Беларуси. Объединенный ин-т энергет. и ядер. исслед.–Сосны; ОИЭЯИ-70).
14. Семенович, О.В. Анализ субканальных моделей термогидродинамического расчёта стержневых ТВС: классификация и тенденции развития / О.В. Семенович. – Минск, 2009. – 36 с. – (Препринт / НАН Беларуси.

Объединенный ин-т энергет. и ядер. исслед. – Сосны; ОИЭЯИ – Сосны-40).

15. Семенович, О.В. Методы математического моделирования термогидродинамических процессов в стержневых ТВС. Аналитический обзор / О.В. Семенович, М.С. Корнев. – Минск, 2017. – 60 с. – (Препринт / НАН Беларуси. Объединенный ин-т энергет. и ядер. исслед.–Сосны; ОИЭЯИ-73).

Перечень дополнительной литературы

1. Самарский А. А. Введение в теорию разностных схем. – М., Наука. – 1979. – 541 с.
2. Бреббия, К. Методы граничных элементов / К. Бреббия, Ж. Теллес, Л. Вроубел. – М.: Мир, 1987. – 524 с.
3. Расчеты машиностроительных конструкций методом конечных элементов: Справочник / В.И. Мяченков [и др.]; под общ. ред. В.И. Мяченкова. – М.: Машиностроение, 1989. – 520 с.
4. Белов И. А. Модели турбулентности : учеб. пособие. – Л.: ЛМИ, 1986. – 100 с.
5. Белов И. А., Исаев С. А. Моделирование турбулентности: учеб. пособие. – СПб: Балт. гос. техн. ун-т., 2001. – 108 с.
6. Гарбарук А. В., Стрелец М. Х., Шур М. Л. Моделирование турбулентности в расчётах сложных течений: учеб. пособие. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 88 с.
7. Волков К. Н., Емельянов В. Н. Моделирование крупных вихрей в расчетах турбулентных течений. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 368 с.
8. Семенович, О.В. Методы математического моделирования термогидродинамических процессов в стержневых ТВС. Аналитический обзор / О.В. Семенович, Тишкович А.Н., Дойникова А.В. – Минск, 2017. – 36 с. – (Препринт / НАН Беларуси. Объединенный ин-т энергет. и ядер. исслед.–Сосны; ОИЭЯИ-72).

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать контрольная и реферативная работы.

Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины.

Контрольные мероприятия проводятся в письменной форме. Оценка каждого из контрольных мероприятий проводится по десятибалльной шкале.

В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время.

Оценка текущей успеваемости – O_T – определяется как средневзвешенное (с округлением до целого значения по общепринятым правилам) оценок, полученных за контрольную работу и реферат. Рассчитывается по формуле: $O_T = (O_{KP} + 3 \cdot O_P) / 4$, где O_{KP} – оценка контрольной работы, O_P – оценка реферата. Для допуска к экзамену необходимо получить O_T минимум 4 (четыре).

Формой текущей аттестации по дисциплине «Математическое моделирование физических процессов в реакторных установках» учебным планом предусмотрен экзамен.

Экзамен проводится в устной форме.

Итоговая (рейтинговая оценка) – $O_{И}$ – определяется как средневзвешенное значение оценки текущей успеваемости и оценки экзамена – $O_Э$ – по формуле $O_{И} = 0,15 \cdot O_T + 0,85 \cdot O_Э$ (с округлением до целого значения по общепринятым правилам).

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Контрольная работа по темам 1– 3 учебно-методической карты учебной дисциплины.

В рамках контрольной работы студент(-ка) письменно отвечает на 6 вопросов, касающихся материала тем, выносимых на контрольную. Экзаменационные билеты предоставляются преподавателем.

Список вопросов (в формулировке, представленной в билетах) представляется преподавателем не позднее, чем за 10 дней до дня проведения контрольной работы.

Реферативная работа по теме 4. Примерные темы рефератов представлены ниже – на странице 13.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используются **практико-ориентированный подход** и **метод анализа конкретных ситуаций (кейс-метод)**.

Это предполагает освоение содержания образования через решения практических задач; приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности; ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие предпринимательской культуры; использованию процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций; приобретение студентом знаний и умений для решения практических задач; анализ ситуа-

ции, используя профессиональные знания, собственный опыт, дополнительную литературу и иные источники.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Основой методики организации самостоятельной работы студентов является предоставление студентам необходимой для работы информации, а также обеспечение регулярных консультаций преподавателя и периодичной отчетности по различным видам учебной и самостоятельной работы.

В открытом доступе для студентов размещается следующая информация: ● программа дисциплины с указанием основной и дополнительной литературы; ● график консультаций преподавателя; ● вопросы к экзамену; ● сроки проведения контрольных мероприятий по различным видам учебной деятельности.

В случае необходимости, освоение части лекционного материала и материала лабораторных занятий по отдельным темам и в объеме, определяемым решением кафедры, может быть организовано с использованием информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) и привлечением электронных средств обучения. Организация занятий с привлечением электронных средств обучения ведется с помощью образовательного портала Физического факультета БГУ eduphys.bsu.by.

Примерные темы реферативных работ

1. Моделирование ISP-1 «Труба Эдвардса» с помощью системного реалистического теплогидравлического расчётного кода.
2. Моделирование замкнутого теплогидравлического контура с помощью системного реалистического теплогидравлического расчётного кода.
3. Моделирование течи с помощью системного реалистического теплогидравлического расчётного кода.
4. Моделирование эксперимента «THETIS» с помощью системного реалистического теплогидравлического расчётного кода.
5. Моделирование критического истечения в современных системных реалистических теплогидравлических расчётных кодах.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
1. Тепло-массо-перенос в ядерных энергетических установках.	Кафедра ядерной физики.	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения.	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 11 от 21.05.2020 г.)
2. Термогидродинамика переходных и аварийных режимов реакторных установок.	Кафедра ядерной физики.	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения.	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 11 от 21.05.2020 г.)

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на ____/____ учебный год

№ № ПП	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании
кафедры ядерной физики
(протокол № ____ от _____ 202_ г.)

Заведующий кафедрой
ядерной физики
к. ф.-м. н., доцент

_____ А.И. Тимощенко.

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета
к. ф.-м. н., доцент

_____ М.С. Тиванов.