

ГОУ ВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**КАФЕДРА ФИЗИКИ НЕРАВНОВЕСНЫХ ПРОЦЕССОВ МЕТРОЛОГИИ И
ЭКОЛОГИИ им. И.Л. ПОВХА**

УТВЕРЖДАЮ:

проректор по научно-методической
и учебной работе

Е.И. Скафа

«22» апреля 2020 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**«Вычислительная технологии и численные методы решения задач тепло- и
массопереноса»**

название учебной дисциплины

Направление подготовки:	16.04.01 Техническая физика
Магистерская программа:	-
Образовательная программа:	академическая магистратура
Квалификация:	магистр
Форма обучения:	очная, заочная

Донецк 2020

УТВЕРЖДАЮ:

И.о. декана физико - технического
факультета

С.А. Фоменко

подпись

«17» апреля 2020 г.

МП

Программа учебной дисциплины «Вычислительная технологии и численные методы решения задач тепло- и массопереноса»

составлена с учетом Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования направления подготовки 16.04.01 Техническая физика, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от «21» ноября 2014 г. № 1486;

на основании Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования Донецкой Народной Республики (ГОС ВПО ДНР) направления подготовки 16.04.01 Техническая физика, утвержденного приказом Министерства образования и науки ДНР от «16» мая 2019 г. №640;

Порядка организации учебного процесса в образовательных организациях высшего профессионального образования Донецкой Народной Республики, утвержденного приказом Министерства образования и науки ДНР № 1171 от «10» ноября 2017 г.;

учебного плана и основной образовательной программы магистратуры, направления подготовки 16.04.01 Техническая физика, разработанных в ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет».

Разработчик:

Профессор кафедры физики неравновесных процессов, метрологии и экологии им. И.Л. Повха

Недопекин Ф.В.

Программа учебной дисциплины утверждена на заседании кафедры физики неравновесных процессов, метрологии и экологии им. И.Л. Повха

Протокол №17 от «02» апреля 2020 г.

Заведующий кафедрой

Белоусов В.В.

Программа учебной дисциплины одобрена учебно-методической комиссией физико-технического факультета

Протокол № 5 от «15» апреля 2020 г.

Председатель учебно-методической
комиссии физико-технического факультета

Котенко В.Н.

1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ.

Дисциплина «Вычислительная технологии и численные методы решения задач тепло- и массопереноса» является частью учебного плана по подготовке магистров по специальности «Техническая физика».

Основу данной дисциплины включают знания по дисциплинам, которые были получены студентом ранее в университете такие как: «Высшая математика», «Физика», «Химия», «Математическая физика», «Процессы переноса в сплошных средах», «Численные методы технической физики».

Знания и умения, приобретенные при освоении данной дисциплины, реализуются студентом при изучении последующих дисциплин учебного плана и прохождении государственной итоговой аттестации.

Учебно-методические материалы разработаны в соответствии с требованиями Государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования и Основных образовательных программ по направлениям подготовки 16.04.01 «Техническая физика».

2. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

<i>Характеристика учебной дисциплины</i>		
Направление подготовки	16.04.01 «Техническая физика».	
Магистерская программа		
Образовательная программа	академическая магистратура	
Квалификация	магистр	
Количество содержательных модулей	4	
Дисциплина базовой / вариативной части образовательной программы	Профессиональный блок, базовая часть	
Формы контроля (МК, экзамен, зачет)	Модульный контроль, экзамен	
Показатели	очная форма обучения	заочная форма обучения
Количество зачетных единиц (кредитов)	2	2
Год подготовки	1	1
Семестр	2	2
Количество часов	72	72
- лекционных	14	2
- практических, семинарских	14	4
- лабораторных		
- самостоятельной работы	44	66
в т.ч. индивидуальное задание		
Недельное количество часов,	5	
в т.ч. аудиторных	2	

3. ОПИСАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.

Цель изучения дисциплины: формирование знаний и умений студента в области процессов переноса теплоты и вещества, получение и изучение необратимых процессов распространения тепла и вещества. Под процессами распространения теплоты и вещества

понимается обмен внутренней энергией и массой между отдельными элементами среды. Различают три основных вида теплопереноса: теплопроводность, конвекция и тепловое излучение. Большинство процессов теплопереноса сопровождается процессами массопереноса (плавления и затвердевания многокомпонентных расплавов, электрохимические процессы, течение среды с учетом химических реакций). Поэтому чаще всего процессы переноса импульса, массы, тепла являются взаимообусловленными и рассматриваются как единое целое.

Основные задачи дисциплины:

- сформировать знания о процессах тепломассопереноса при ламинарном и турбулентном течении в трубах;
- рассмотреть обтекания пластины мало - и высоко - теплопроводной жидкостью;
- рассмотреть естественную конвекцию при обтекании пластины;
- рассмотреть решения практических задач затвердения бинарных расплавов литейных формах;
- изучить основы субстанциональной теории для получения уравнений переноса энергии, массы, импульса для многокомпонентной среды с учетом химических реакций;

Требования к результатам освоения дисциплины:

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ГОС ВПО по вышеуказанному направлению подготовки (профилю):

-общекультурных (ОК): способностью использовать основы философских знаний для формирования мировоззренческой позиции (ОК-1); способностью анализировать основные этапы и закономерности исторического развития общества для формирования гражданской позиции (ОК-2); способностью работать в коллективе, толерантно воспринимать социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия (ОК-6); способностью к самоорганизации и самообразованию (ОК-7);

-общепрофессиональных (ОПК): способностью применять методы математического анализа, моделирования, оптимизации и статистики для решения задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности (ОПК-2); способностью к теоретическим и экспериментальным исследованиям в избранной области технической физики, готовностью учитывать современные тенденции развития технической физики в своей профессиональной деятельности (ОПК-3); способностью решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности (ОПК-4); способностью работать с распределенными базами

данных, работать с информацией в глобальных компьютерных сетях, применяя современные образовательные и информационные технологии (ОПК-6); способностью самостоятельно осваивать современную физическую, аналитическую и технологическую аппаратуру различного назначения и работать на ней (ОПК-8);

- *профессиональных (ПК)*: способностью применять эффективные методы исследования физико-технических объектов, процессов и материалов, проводить стандартные и сертификационные испытания технологических процессов и изделий с использованием современных аналитических средств технической физики (ПК-4); готовностью изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике профессиональной деятельности (ПК-5); готовностью составить план заданного руководителем научного исследования, разработать адекватную модель изучаемого объекта и определить область ее применимости (ПК-6); способностью использовать технические средства для определения основных параметров технологического процесса, изучения свойств физико-технических объектов, изделий и материалов (ПК-9); готовностью обосновывать принятие технических решений при разработке технологических процессов и изделий с учетом экономических и экологических требований (ПК-12); способностью разрабатывать функциональные и структурные схемы элементов и узлов экспериментальных и промышленных установок, проекты изделий с учетом технологических, экономических и эстетических параметров (ПК-14).

В результате изучения дисциплины студент должен

знать:

- классификацию краевых условий; физический смысл чисел подобия;
- решение одномерных краевых задач со стационарной теплопроводностью применительно к плоской, цилиндрической и шаровой стенок;
- решать задачи со нестационарной теплопроводностью в случае охлаждения неограниченной пластины;
- решение задачи теплопереноса при ламинарном движении жидкости в круглых трубах с учетом диссипации;
- уравнения турбулентного движения и теплопереноса несжимаемой жидкости;
- решение задачи на обтекание пластины: малотеплопроводной жидкости, приближении пограничного слоя и высокотеплопроводной жидкости в приближении Буссинеска;
- решение задачи теплопереноса при естественной температурной конвекции для: холодной вертикальной пластины и затвердевания расплава в замкнутом объема;

- решение задач затвердевания полупространства, заполненного перегретым расплавом при постоянной температуре границы (обобщенная задача Стефана) и теплоперенос при обтекании полубесконечной пластины металлическим расплавом;

уметь:

- задавать и объяснять различные типы граничных условий; выводить безразмерные уравнения: Навье-Стокса, теплопереноса и массопереноса;

- рассматривать обобщенный метод решения одномерных краевых задач стационарной теплопроводности применительно к плоской, цилиндрической и шаровой стенок;

- применять метод Фурье при решении задач с нестационарной теплопроводностью

- рассматривать процессы тепломассопереноса при ламинарном и турбулентном течениях жидкости в трубах;

- решать математическую модель турбулентного движения и теплопереноса несжимаемой жидкости в круглых трубах в случае мало - и высокотеплопроводностью жидкости;

- рассматривать теплоперенос при естественной температурной конвекции в приближении пограничного слоя;

- решать задачу теплопереноса при естественной температурной конвекции для: холодной вертикальной пластины (метод Кармана) и затвердевания расплава в замкнутом объема;

- выполнять математическую постановку задачи тепломассопереноса при отверждении: бинарного расплава и слитка в случае термоконцентрационной и смешанной конвекции;

- рассматривать класс явлений теплопереноса в областях с подвижными границами, на которых происходит превращение расплава в твердое тело (или наоборот, твердого тела в расплав) решать задачу об устойчивости слоя жидкости, подогреваемой снизу;

- замыкать систему уравнений переноса;

- формулировать линейные, нелинейные и специальные граничные условия для практических задач.

5. Содержание дисциплины и формы организации учебного процесса

Порядковый номер и тема	Краткое содержание темы
-------------------------	-------------------------

	<p align="center">Содержательный модуль 1</p> <p align="center">Теория теплопереноса, основные понятия и определения. Теплоперенос при движении жидкостей</p>
<p align="center">Тема 1. Введение.</p> <p>Предмет курса "Теория теплопереноса"</p>	Значение, применение, цель. Тепловое и диффузное подобие. Критерии подобия. Подобие при естественной конвекции.
<p align="center">Тема 2. Классификация краевых условий.</p>	Классификация краевых условий. Линейные граничные условия. Нелинейные граничные условия. Специальные граничные условия.
<p align="center">Тема 3. Стационарная и нестационарная теплопроводность.</p>	Стационарная и нестационарная теплопроводность. Стационарная теплопроводность тел простейшей формы. Метод Фурье. Охлаждение неограниченной пластины.
<p align="center">Тема 4. Теплоперенос при ламинарном движении жидкости в круглых трубах.</p>	Теплоперенос при ламинарном движении жидкости в круглых трубах. Математическая модель процесса. Теплоперенос вследствие диссипации механической энергии потока
<p align="center">Тема 5. Теплоперенос при постоянной температуре поверхности трубы.</p>	Теплоперенос при периодическом измерении температуры поверхности трубы. Теплоперенос при постоянной температуре поверхности трубы. Теплоперенос при периодическом измерении температуры поверхности трубы.
<p align="center">Тема 6. Теплоперенос при турбулентном движении жидкости в круглых трубах.</p>	Теплоперенос при турбулентном движении жидкости в круглых трубах. Математическая модель турбулентного движения и теплопереноса в круглых трубах в несжимаемой жидкости. Решение и обсуждение сформулированной задачи турбулентного теплопереноса.
<p align="center">Тема 7. Теплоперенос при течении высоко- мало-, теплопроводных жидкостей</p>	Теплоперенос при течении высокотеплопроводных жидкостей. Теплоперенос при течении малотеплопроводных жидкостей. Преобразование Сретенского.
	Содержательный модуль 2

	Тепловая конвекция и ее виды
Тема 8. Теплоперенос при - естественной температурной конвекции, -в условиях термоконцентрационной и смешанной конвекции	Теплоперенос при естественной температурной конвекции. Приближение пограничного слоя при тепловой конвекции. Теплоперенос в условиях термоконцентрационной и смешанной конвекции.
Тема 9. Тепловая конвекция от холодной вертикальной пластины.	Тепловая конвекция от холодной вертикальной пластины. Метод Кармана.
Тема 10. Тепловая конвекция при затвердевании расплава в замкнутом объеме.	Тепловая конвекция при затвердевании расплава в замкнутом объеме. Математическая модель. Конечно-разностная аппроксимация. Анализ результатов вычислительного эксперимента

Тематический план

[illegible]

теплопроводность.																				
-------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

		Содержательный модуль 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Названия содержательных модулей и тем		Количество часов																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		Очная форма						Заочная форма																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
								на базе общего среднего образования						на базе среднего профессионального образования						на базе высшего профессионального образования																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		всего	в т.ч.						всего	в т.ч.						всего	в т.ч.						всего	в т.ч.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
лекции	практические		лабораторные	самостоятельная работа	индивидуальная работа	лекции	практические	лабораторные		самостоятельная работа	индивидуальная работа	лекции	практические	лабораторные	самостоятельная работа		индивидуальная работа	лекции	практические	самостоятельная работа	индивидуальная работа																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Тема 4. Теплоперенос при ламинарном движении жидкости в круглых трубах.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														

Тема 6. Теплоперенос при турбулентном движении жидкости в круглых трубах.																							
Тема 7. Теплоперенос при течении высоко- мало-, теплопроводных жидкостей																							
Итого по 1-му содержательному модулю	6				0																		

		Содержательный модуль 3																									
Названия содержательных модулей и тем		Количество часов																									
		Очная форма						Заочная форма																			
								на базе общего среднего образования						на базе среднего профессионального образования					на базе высшего профессионального образования								
		всего	в т. ч.						всего	в т. ч.						всего	в т. ч.					всего	в т. ч.				
лекции	практиче- ские		лаборат- орные	самостоя- тельная работа	индивид- уальная работа	лекции	практиче- ские	лаборато- рные		самостоя- тельная работа	индивид- уальная работа	лекции	практиче- ские	лаборато- рные	самостоя- тельная работа		индивид- уальная работа	лекции	практиче- ские	самостоя- тельная работа	индивид- уальная работа						
Тема 8. Теплоперенос при - естественной температурной конвекции, - в условиях термоконцентрационной и смешанной конвекции																											
Тема 9. Тепловая конвекция от холодной																											

вертикальной пластины.																									
Тема 10. Тепловая конвекция при затвердевании расплава в замкнутом объеме.																									
Итого по 2-му содержательному модулю	6				4																				

6. Темы семинарских занятий

Семинарские занятия не предусмотрены

7. Темы практических занятий.

Практические занятия не предусмотрены

8. Темы лабораторных занятий.

1. Определение теплофизических параметров материалов
2. Исследование поля скорости при постоянном ламинарном движении жидкости в трубе методом ЭГДА.
3. Исследование поля температур в потоке жидкости методом ЭГДА.
4. Определение температуры плавления, кристаллизации и передкристаллизационного переохлаждения веществ методом баллистического анализа.
5. Исследование процесса теплопереноса при естественной температурной конвекции и от холодной вертикальной пластины
6. Исследование процесса теплопереноса в условиях термоконцентрационной и смешанной конвекции и при затвердевании расплава в замкнутом объеме
7. Определение поля скорости и давления при фильтрации расплава с применением монотонной разностной схемы и поля температур и кинетики затвердевания бинарного расплава с использованием метода сеток.

9. Самостоятельная работа.

Самостоятельная работа студентов по курсу «Теория тепломассопереноса» предусматривает:

- систематическое посещение лекционных занятий, ведение конспекта лекций;
- повседневное изучение лекционного материала и содержания технической литературы, рекомендуемые этой программой и рабочим учебным планом;
- добросовестную подготовку к лабораторным занятиям;
- своевременное и качественное оформление отчётов по лабораторным работам.

Темы для дополнительной самостоятельной работы:

1. Теплоперенос в различных металлах. Приближение идеальной жидкости.
2. Теплоперенос в расплаве при наполнении питательных форм и изложниц.
3. Теплоперенос при продольном обтекании полубесконечной пластины металлическими расплавами.
4. Разностная аппроксимация математической модели тепловой конвекции в замкнутом объеме.
5. Решение уравнения Пуассона для функции тока и анализ результата численного моделирования тепловой конвекции.
6. Математическая модель тепловой конвекции при затвердевании расплава в замкнутом объеме.
7. Обобщенная математическая модель процессов переноса при затвердевании бинарных расплав

10. Индивидуальные задания.

Индивидуальные задания не предусмотрены

11. Контрольные вопросы к промежуточной аттестации

1. Линейные граничные условия 1-го, 2-го и 3-го рода.
2. Охарактеризовать линейные граничные условия 4-го и 5-го рода и нелинейные граничные условия.
3. Специальные граничные условия.
4. Исследовать процесс стационарной теплопроводности в плоской стенке.
5. Исследовать стационарную теплопроводность цилиндрической стенки.
6. Исследовать стационарную теплопроводность шаровой стенки.
7. Теплопроводность полуграниченной однородной пластины.
8. Нестационарная теплопроводность. Охлаждение неорганической пластины.
9. Теплоперенос при ламинарном движении в трубах с учетом диссипации. Исходная форма записи системы уравнений. Физический смысл критерия (тепловой), Прандтля и Эккерта.
10. Установить физический смысл критериев Нуссельта, Био и Кирпичёва.
11. Теплоперенос при постоянной температуре поверхности трубы (ламинарный режим течения). Постановка и методика решения задач.
12. Решение тепловой части задачи при турбулентном движении жидкости в круглых трубах.
13. Постановка задачи теплообмена при ламинарном движении жидкости в трубах. Определение поля температуры вследствие диссипации механической энергии потока.
14. Начальная термическая участок. Влияние конфигурации поперечного сечения трубы на теплообмен при ламинарном течении жидкости.
15. Участок стабилизированного теплообмена при ламинарном течении жидкости в трубе.
16. Теплоперенос при периодическом изменении температуры поверхности трубы.
17. Показать влияние величины периода на теплоперенос в трубе при периодическом изменении температуры поверхности.
18. Теплоперенос при турбулентном движении жидкости в трубах. Уравнения турбулентного движения и теплопереноса несжимаемой жидкости. Полный тензор напряжений и вектор плотности потока тепла.
19. Получить зависимость потока теплового слоя от числа Прандтля при турбулентном течении в трубе.
20. Математическая модель турбулентного движения и теплопереноса в круглых трубах.

21. Охарактеризовать роль функции Польгаузена при теплопередаче от потока к пластине ($Pr \gg 1$).
22. Теплоперенос при турбулентном движении высокотеплопроводных жидкостей. Критерий Кирпичева.
23. Теплоперенос при обтекании пластины малотеплопроводных жидкостями.
24. Теплоперенос при обтекании пластины высокотеплопроводными жидкостями.
25. Доказать инвариантность уравнения теплопереноса при конформном преобразовании (преобразование Сретенского).
26. Сравнительный анализ теплопереноса при продольном обтекании пластины мало и высокотеплопроводными жидкостями.
27. Теплоперенос в различных металлах. Приближение идеальной жидкости.
28. Теплоперенос в расплаве при наполнении питательных форм и изложниц.
29. Теплоперенос при продольном обтекании полубесконечной пластины металлическими расплавами.
30. Разностная аппроксимация математической модели тепловой конвекции в замкнутом объеме.
31. Решение уравнения Пуассона для функции тока и анализ результата численного моделирования тепловой конвекции.
32. Математическая модель тепловой конвекции при затвердевании расплава в замкнутом объеме.
33. Обобщенная математическая модель процессов переноса при затвердевании бинарных расплав

12. Образец экзаменационного билета



Минобрнауки ДНР

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 3

по дисциплине: Теория тепломассопереноса

Содержание билета

1. Линейные граничные условия 1-го, 2-го и 3-го рода.

2. Нестационарная теплопроводность. Охлаждение неорганической пластины.

Составил: _____ /

/ Утверждаю:

«____» _____ 200__ г.

Зав.кафедрой: _____ /

/

13. Образец тестового задания (при наличии)

14. Критерии оценивания (разрабатываются и утверждаются кафедрой)

Оценка по 100-балльной шкале, которая действует в ДонНУ	По шкале ECTS	Оценка по государственной шкале (экзамен, дифференцированный зачет, зачёт)	Определение
90–100	A	«Отлично»(5) (зачтено)	отлично – отличное выполнение с незначительным количеством неточностей
80–89	B	«Хорошо»(4) (зачтено)	хорошо – в целом правильно выполненная работа с незначительным количеством ошибок (до 10%)
75–79	C		хорошо – в целом правильно выполненная работа с незначительным количеством ошибок (до 15%)
70–74	D	«Удовлетворительно»(3) (зачтено)	удовлетворительно – неплохо, но со значительным количеством недостатков
60–69	E		достаточно – выполнение удовлетворяет минимальные критерии
35–59	FX	«Неудовлетворительно» с возможностью повторной аттестации (2) (не зачтено)	неудовлетворительно – надо поработать над тем, как получить положительную оценку
0-34	F	2 (неудовлетворительно) (не зачтено)	с возможностью повторной сдачи при условии обязательного набора дополнительных баллов

15. Материально-техническое обеспечение учебного процесса

15.1.1. Перечень наглядных пособий:

Теоретические и прикладные аспекты теплопереноса

Тепломассоперенос

Основы механики сплошных сред

Процессы переноса импульса, энергии и массы в сплошных средах

16. Оборудование

16.1. Большая аэродинамическая труба АТ-5

16.2. Малая аэродинамическая труба замкнутого типа с открытой рабочей частью

16.3. Аэродинамический стенд для градуировки пневматических измерителей скорости и термоанемометров при различных температурах и градуировки термопар

16.4. Горизонтальная разомкнутая аэродинамическая труба

16.5. Замкнутая аэродинамическая труба с частотным регулятором

16.6. Измерители давления ММН-240, МКВ-250

16.7. Термоанемометры: а) с нагретой нитью; б) с термистерным преобразователем для измерения средней скорости, средней температуры, пульсации скорости и пульсации температуры

16.8. Пневматические измерители скорости и векторы скорости в плоском и трехмерном: напорные трубки Пито-Прандтля, цилиндрические и шаровые зонды

16.9. Установка для измерения коэффициента температуропроводности твердых материалов

16.10. Установка для измерений температур структурно-фазового перехода

17. Рекомендованная литература

Основная:

1. Недопекин, Ф. В. Тепломассоперенос: учеб. пособие / Ф. В. Недопекин; Донец. нац. ун-т. Каф. физики неравновес. процессов, метрологии и экологии. - 2-е изд. - Донецк: ДонНУ, 2007. - 174 с.

2. Недопекин, Ф. В. Теоретические и прикладные аспекты теплопереноса: учеб. пособие для студентов, магистров и аспирантов вузов / Ф. В. Недопекин, С. И. Гинкул, Е. В. Новикова; Донецкий нац. ун-т; Донецкий нац. техн. ун-т. - Донецк: ДонНУ, 2013. - 321 с.

Дополнительная:

1. Недопекин, Ф. В. Математическое моделирование гидродинамики и тепломассопереноса в слитках. - Ижевск: Изд-во Удмурт. ун-та, 1995. - 236 с.
2. Диффузионные процессы в стационарных газовых потоках: [Учеб. пособие] / Ф. В. Недопекин, Г. С. Калюжный, А. А. Коваленко, В. И. Соколов; Восточноукр. нац. ун-т им. В. Даля. - Луганск: Изд-во Восточноукр. нац. ун-та им. В. Даля, 2004. - 159 с.
3. Диффузионные процессы в стационарных газовых потоках: [учеб. пособие] / Недопекин Ф., Коваленко А., Соколов В. и др.; Восточноукр. нац. ун-т им. В. Даля; Донец. нац. ун-т. - Изд. 2-е. - Луганск: Изд-во Восточноукр. нац. ун-та им. В. Даля, 2007. - 222 с.
4. Затвердевание металлических композиций: производство и моделирование / В. А. Лейбензон, Ф. В. Недопекин, В. М. Кондратенко и др. - Донецк: Юго-Восток, 2005. - 228 с.
5. Димніч, А. Х. Теплопровідність: [Навч. посіб. для студ. техн. спец. вузів] / А. Х. Димніч, О. А. Троянський. – Донецьк: Норд-Прес, 2004. - 370 с.
6. Булер, П. Термодинамика вещества при высоких давлениях / Петер Булер. - СПб.: Янус, 2002. - 176 с.
7. Физическая химия: В 2 кн.: Учеб. для вузов. Кн. 1: Строение вещества; Термодинамика / К. С. Краснов, Н. К. Воробьев, И. Н. Годнев и др. ; Под. ред. К. С. Краснова. - 3. изд. - М.: Высш. шк., 2001. - 512 с.
8. Сивухин, Д. В. Общий курс физики: Учеб. пособие для физ. специальностей вузов: [В 5 т.]: Д. В. Сивухин. Т. 2: Термодинамика и молекулярная физика. - Изд. 4-е. - М.: Физматлит: Изд-во МФТИ, 2003. - 575 с.
9. Термодинамика и кинетика твердофазных реакций: учеб. пособие / [Сост. В. И. Марченко]; Донец. нац. ун-т. - Донецк: ДонНУ, 2006. - 106 с
10. Квасников, Е. И. Термодинамика и статистическая физика [Текст]: [в 4 т.]: учеб. пособие. Т. 4 / Е. И. Квасников; Московский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. - Москва: URSS: КомКнига, 2005. - 349 с.

18. Информационные ресурсы

19. Программное обеспечение (при наличии)

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры физики неравновесных процессов, метрологии и экологии им. И.Л. Повха с изменениями (без изменений) на 2021 год.

Протокол № ____ от « ____ » _____ 20 ____ г.

Заведующий кафедрой _____

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры физики неравновесных процессов, метрологии и экологии им. И.Л. Повха с изменениями (без изменений) на 2022 год.

Протокол № ____ от « ____ » _____ 20 ____ г.

Заведующий кафедрой _____

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры физики неравновесных процессов, метрологии и экологии им. И.Л. Повха (без изменений) на 2023 год.

Протокол № ____ от « ____ » _____ 20 ____ г.

Заведующий кафедрой _____

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры физики неравновесных процессов, метрологии и экологии им. И.Л. Повха (без изменений) на 2024 год.

Протокол № ____ от « ____ » _____ 20 ____ г.

Заведующий кафедрой _____