

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Костромской государственный университет»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОВОДИМОСТЬ
ПРИЭЛЕКТРОДНОЙ ПАРОГАЗОВОЙ ОБОЛОЧКИ**

Направление подготовки «22.06.01–Технологии материалов»

Направленность «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Квалификация выпускника: Исследователь. Преподаватель исследователь

Кострома

Рабочая программа дисциплины «Электрическая проводимость приэлектродной парогазовой оболочки» разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования уровень высшего образования подготовки кадров высшей квалификации, направления подготовки 22.06.01 – Технологии материалов, утвержден 30 июля 2014 года

Разработал: 
подпись Жиров Александр Владимирович, доцент кафедры общей и теоретической физики, к.т.н.

Рецензент: 
подпись Шадрин Сергей Юрьевич, заведующий кафедрой общей и теоретической физики, к.т.н., доцент

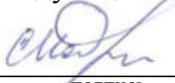
УТВЕРЖДЕНО:

На заседании кафедры общей и теоретической физики
Протокол заседания кафедры № 15 от 29 июня 2017 г.
Заведующий кафедрой общей и теоретической физики


подпись Шадрин Сергей Юрьевич, заведующий кафедрой общей и теоретической физики, к.т.н., доцент

ПЕРЕУТВЕРЖДЕНО:

На заседании кафедры общей и теоретической физики
Протокол заседания кафедры № 12 от 28 июня 2018 г.
Заведующий кафедрой общей и теоретической физики


подпись Шадрин Сергей Юрьевич, заведующий кафедрой общей и теоретической физики, к.т.н., доцент

ПЕРЕУТВЕРЖДЕНО:

На заседании кафедры общей и теоретической физики
Протокол заседания кафедры № 10 от 20 мая 2019 г.
Заведующий кафедрой общей и теоретической физики


подпись Шадрин Сергей Юрьевич, заведующий кафедрой общей и теоретической физики, к.т.н., доцент

ПЕРЕУТВЕРЖДЕНО:

На заседании кафедры общей и теоретической физики
Протокол заседания кафедры № 10 от 7 мая 2020 г.

Заведующий кафедрой общей и теоретической физики



подпись

Шадрин Сергей Юрьевич, заведующий кафедрой общей и

теоретической физики, к.т.н., доцент

ПЕРЕУТВЕРЖДЕНО:

На заседании кафедры общей и теоретической физики

Протокол заседания кафедры № 5 от 14 января 2021 г.

Заведующий кафедрой общей и теоретической физики



подпись

Шадрин Сергей Юрьевич, заведующий кафедрой общей и

теоретической физики, к.т.н., доцент

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Цель дисциплины: формирование у аспирантов углубленных профессиональных знаний о механизмах переноса заряда через парогазовую оболочку при электролитно-плазменном нагреве в водных растворах электролитов, применяемого для электрохимической модификации металлов и сплавов

Задачи дисциплины:

- обратить внимание аспирантов на сложный характер прохождения тока через многофазные электрохимические системы;
- сформировать представление о теплофизической картине электролитного нагрева с выявлением источников тепла и направлений тепло- и массопереноса;
- подготовить аспирантов к применению полученных знаний при осуществлении конкретного исследования явления или его применений.

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

знать:

- особенности переноса электрического заряда в трехфазной системе анод–парогазовая оболочка–электролит при различных режимах электролитно-плазменной обработки;
- роль температуры и скорости течения электролита на вольт-амперные характеристики нагрева анода при электролитно-плазменной обработке;
- модели расчета температуры нагреваемого изделия простой формы, их сравнительный анализ;
- правила подготовки статей для ведущих рецензируемых журналов;
- правила оформления отчетов и подготовки электронных презентаций;
- практические возможности измерительной техники и ее возможную погрешность;
- основные результаты, полученные на основе теплофизических моделей анодного электролитно-плазменного нагрева.

уметь:

- экономически оценивать производственные и непроизводственные затраты на создание новых материалов и изделий, в частности давать оценку потребляемой энергии и коэффициенту полезного действия;
- использовать на практике интегрированные знания естественнонаучных, общих профессионально-ориентирующих и специальных дисциплин для понимания проблем развития материаловедения, в частности прогнозировать фазовые превращения на основе данных о динамике температурного поля в обрабатываемом образце;
- выполнять расчетно-теоретические и экспериментальные исследования в качестве ведущего исполнителя с применением компьютерных технологий, в частности выполнять расчеты распределения потенциала и температуры в парогазовой оболочке;
- обрабатывать результаты научно-исследовательской работы, оформлять научно-технические отчеты, готовить к публикации научные статьи и доклады, в частности анализировать полученную информацию с ранжированием результатов на главные и второстепенные;
- формулировать выводы с акцентом на получение нового знания;
- выбирать приборы, датчики и оборудование для проведения экспериментов и регистрации их результатов, в частности проводить экспериментальные измерения силы тока в системе анод – пго – электролит, напряжения на электрохимической ячейке, температуры анода, температуры и скорости течения электролита;

- выявлять взаимосвязь между условиями воздействия на материал и возникающими в нем структурными изменениями, в частности оценивать глубину прокаливаемости металлического образца простой формы на основе данных о нестационарной плотности теплового потока из парогазовой оболочки в нагреваемый образец.

владеть:

- методами управления распределением тепловых потоков, действующих в парогазовой оболочке, на основе физических свойств процесса
- методами совместного использования диаграмм мартенситного превращения и профилей температурного поля в обрабатываемой при анодном электролитном нагреве детали
- методами расчета энергетического баланса в трехфазной системе анод–парогазовая оболочка–электролит;
- современными методами оформления научной информации, включая графики, таблицы и диаграммы с применением требуемых редакторов;
- методами записи вольтамперные и вольт-температурные характеристики процесса анодного электролитного нагрева;
- основами прогнозирования механических свойств модифицированной поверхности на основе данных о динамике температурного поля и диаграммами состояния обрабатываемого материала.

освоить компетенции:

- способность и готовность использовать на практике интегрированные знания естественнонаучных, общих профессионально-ориентирующих и специальных дисциплин для понимания проблем развития материаловедения, умение выдвигать и реализовывать на практике новые высокоэффективные технологии (ОПК-5);
- способность и готовность выполнять расчетно-теоретические и экспериментальные исследования в качестве ведущего исполнителя с применением компьютерных технологий (ОПК-6);
- способность и готовность обрабатывать результаты научно-исследовательской работы, оформлять научно-технические отчеты, готовить к публикации научные статьи и доклады (ОПК-8);
- способностью выбирать приборы, датчики и оборудование для проведения экспериментов и регистрации их результатов (ОПК-10);
- способность и готовность выявлять взаимосвязь между условиями воздействия на материал и возникающими в нем структурными изменениями (ПК-1).

3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Данная дисциплина изучается в четвертом семестре и входит в вариативную часть учебного плана подготовки. «Электрическая проводимость приэлектродной парогазовой оболочки» касается центрального аспекта физико-химического механизма явления электролитно-плазменной модификации металлов и сплавов. В этом курсе аспиранты знакомятся со спецификой условий в нетривиальной электрохимической системе, фазовыми превращениями в системе, возможными типами электрических разрядов, состоянием поверхности кипящего электролита. Полученные сведения будут использованы при изучении особенностей диффузионного насыщения в условиях электролитно-плазменной обработки и ее технологических возможностей.

Перед изучением дисциплины «Электрическая проводимость приэлектродной парогазовой оболочки» обучающийся должен иметь представления о законах прохождения электрического тока через электролиты и газы, физике кипения, химических и электрохимических реакциях. Требуемые компетенции на минимальном и среднем уровне формируются в рамках образовательных программ бакалавриата (направление

подготовки 03.03.02 – физика), магистратуры (направление 011200.68, профиль «Физика конденсированного состояния вещества»), а также в программах дисциплин аспирантуры «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов», «Теплофизическая картина анодного нагрева в водных электролитах» и «Особенности диффузного насыщения в условиях электролитного нагрева».

Знания и навыки, полученные аспирантами при изучении данного курса, необходимы для успешного прохождения практики по специальности, а также при подготовке и написании диссертации.

Формирование компетенций, закладываемых при изучении данной дисциплины, будет продолжено в рамках дисциплин «Технологии и оборудование для электролитного нагрева», «Особенности диффузионного насыщения в условиях электролитного нагрева», а также в ходе практики по специальности и научного исследования.

4. Объем дисциплины (модуля)

4.1. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием академических (астрономических) часов и виды учебной работы

Виды учебной работы,	Очная форма	Заочная
Общая трудоемкость в зачетных единицах	2	2
Общая трудоемкость в часах	72	72
Аудиторные занятия в часах, в том числе:	10	6
Лекции	4	2
Практические занятия	6	4
Лабораторные занятия	–	–
Самостоятельная работа в часах	62	66
Форма промежуточной аттестации	зачет (4 семестр)	зачет (4 семестр)

4.2. Объем контактной работы на 1 обучающегося

Виды учебных занятий	Очная форма	Заочная
Лекции	4	2
Практические занятия	6	4
Лабораторные занятия	–	–
Консультации	–	–
Зачет/зачеты	0,25	0,25
Курсовые работы	–	–
Курсовые проекты	–	–
Всего	10,25	6,25

5.Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам), с указанием количества часов и видов занятий

**5.1 Тематический план учебной дисциплины
(очная форма обучения)**

№	Название раздела, темы	Всего з.е/час	Аудиторные занятия			Самостоятельная работа
			Лекц.	Практ.	Лаб.	
1	Условия образования плазмы в электрохимической системе	14	1	1		12
2	Эмиссионный механизм прохождения тока через анодную оболочку	17	1	2		14
3	Закономерности диффузионного насыщения в условиях анодного нагрева	14	1	1		12
4	Химические и электрохимические реакции в парогазовой оболочке	17	1	2		14
	Зачет	10				10
	Итого:	72	4	6		62

**5.1 Тематический план учебной дисциплины
(заочная форма обучения)**

№	Название раздела, темы	Всего з.е/час	Аудиторные занятия			Самостоятельная работа
			Лекц.	Практ.	Лаб.	
1	Условия образования плазмы в электрохимической системе	15	–	1		14
2	Эмиссионный механизм прохождения тока через анодную оболочку	16	1	1		14
3	Закономерности диффузионного насыщения в условиях анодного нагрева	15	–	1		14
4	Химические и электрохимические реакции в парогазовой оболочке	16	1	1		14
	Зачет	10				10
	Итого:	72	2	4		66

5.2. Содержание дисциплины:

Тема 1. Условия образования плазмы в электрохимической системе

Режимы прохождения тока через водные электролиты. Критические напряжения перехода от режима электролиза к прерываниям тока. Роль электролизного выделения газа. Напряжения перехода от режима прерываний к стационарному нагреву. Условия появления тлеющего разряда в катодной парогазовой оболочке. Возможность перехода тлеющего разряда в дуговой. Закономерности прохождения тока через четырехфазную электрохимическую систему электролит – парогазовая оболочка – оксид – металлический электрод.

Тема 2. Эмиссионный механизм прохождения тока через анодную оболочку

Моделирование анодного нагрева пленочным кипением. Вольтамперные характеристики парогазовой оболочки постоянной толщины. Расчет порогового напряжения в оболочке, обеспечивающего эмиссию анионов из кипящего электролита. Вольт-амперные и вольт-температурные характеристики катодного и анодного нагрева.

Тема 3. Закономерности диффузионного насыщения в условиях анодного нагрева

Достоинства и ограничения электролитно-плазменного насыщения металлов и сплавов. Специфика формирования диффузионных слоев при анодной и катодной обработке. Изменение содержания ионов аммония и хлора в процессе эксплуатации электролитов для цементации на основе хлорида аммония. Изменение концентраций ионов аммония, аммиака и нитрат-ионов при эксплуатации электролитов для азотирования. Выработка электролитов, содержащих ацетон, глицерин, сахарозу, этиленгликоль. Эксплуатационные свойства электролитов для цементации и методы корректировки их состава.

Тема 4. Химические и электрохимические реакции в парогазовой оболочке

Процессы кипения, термического разложения и электрохимические реакции, определяющие состав парогазовой оболочки. Закономерности анодного растворения технического титана, меди, хрома и ряда стальных сплавов в электролитах на основе солей аммония. Роль анионов электролита в анодных реакциях. Влияние температуры нагрева и состава электролита на скорость анодного растворения. Влияние температуры нагрева и состава электролита на толщину оксидного слоя.

6. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины

Оценка знаний, умений, навыков, характеризующая этапы формирования компетенций по дисциплине «Электрическая проводимость приэлектродной парогазовой оболочки» осуществляется в ходе текущего контроля, предусматривающего опрос аспирантов, доклад на семинаре и тестирование.

Опрос проводится на семинарах по следующим фрагментам дисциплины:

- физические и химические явления при электролитно-плазменной обработке;
- численные характеристики параметров обработки и получаемых результатов;
- новизна научной информации, полученной аспирантами в ходе исследований.

Учащимся предлагаются вопросы, охватывающие изучаемые разделы дисциплины. В процессе обсуждения разбираются ошибки и неточности ответов. При обсуждении законов природы уточняются рамки применимости этих законов, то есть ограничения условий их истинности. Качество ответа оценивается по трехбалльной системе: за верный в главном ответ ставится «плюс», за принципиально неверный или отсутствие ответа ставится «минус», за частично верный ответ — «плюс-минус».

Доклады готовятся по материалам самостоятельно выполненных исследований с обязательной электронной презентацией и распечатанными черновиками готовящихся научных публикаций. Регламент доклада 10–15 минут, обсуждение – до 10 минут. Доклад засчитывается, если автор сумел ответить на все вопросы и замечания.

Тестирование осуществляется по всем разделам курса. Аспирантам предлагаются 23

задания с множественными, единичными или расчетными ответами. Продолжительность испытаний – 1 академический час. Тестирование назначается после окончания лекционного курса. Уровень выполнения теста оценивается числом правильных ответов. По каждому заданию за верный вариант ответа ставится плюс, за неверный – минус с последующим суммированием по известным правилам. Кроме того, при проверке нескольких ответов на один и тот же вопрос неверный ответ уничтожит верный.

Тест считается успешно выполненным, если обучаемый набирает две трети от максимально возможного числа правильных ответов.

Промежуточный контроль представляет собой зачет, на котором аспиранты отвечают на вопросы по всем разделам курса. На подготовку ответов дается не менее 20 минут. Разрешается пользоваться любыми источниками информации. К зачету допускаются все учащиеся, успешно выполнившие тестирование. В противном случае им предоставляется возможность сделать его на зачете. Подготовка к ответам проходит в аудитории, где учащиеся сидят отдельно, по одному за столом. Общее число аспирантов, одновременно готовящихся к ответу, не ограничивается.

Для получения зачета достаточно проявить осведомленность во всех разделах курса и понимание основных физико-химических процессов изучаемого явления.

Зачет не ставится аспирантам, имеющим серьезные пробелы хотя бы в одном из разделов изучаемой дисциплины.

6.1. Самостоятельная работа обучающихся по дисциплине

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Задание	Часы	Методические рекомендации по выполнению задания	Форма контроля
1	Условия образования плазмы в электрохимической системе	Изучение литературы	12	В качестве литературных источников предпочтительнее использовать [1, 2] из списка основной литературы	Опрос
2	Эмиссионный механизм прохождения тока через анодную оболочку	Изучение литературы, подготовка доклада	14	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебником [1, 2] из списка основной литературы	Опрос
3	Закономерности диффузионного насыщения в условиях анодного нагрева	Изучение литературы	12	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебником [1, 2] из списка основной литературы и [4] из списка дополнительной литературы	Доклады
4	Химические и электрохимические реакции в парогазовой оболочке	Изучение литературы, решение задач	14	В качестве литературных источников предпочтительнее использовать [1, 2] из списка основной литературы и [1, 6] из списка дополнительной	Тест

				литературы	
5	зачет	Решение зачетных заданий	10	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебником [1, 2] из списка основной литературы [1, 2] из списка дополнительной литературы	зачет

6.1. Самостоятельная работа обучающихся по дисциплине (заочная форма обучения)

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Задание	Часы	Методические рекомендации по выполнению задания	Форма контроля
1	Условия образования плазмы в электрохимической системе	Изучение литературы	14	В качестве литературных источников предпочтительнее использовать [1, 2] из списка основной литературы	Устный опрос
2	Эмиссионный механизм прохождения тока через анодную оболочку	Изучение литературы, подготовка доклада	14	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебником [1, 2] из списка основной литературы	Письменный опрос
3	Закономерность и диффузионного насыщения в условиях анодного нагрева	Изучение литературы	14	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебником [1, 2] из списка основной литературы и [4] из списка дополнительной литературы	Письменный опрос
4	Химические и электрохимические реакции в парогазовой оболочке	Изучение литературы, решение задач	14	В качестве литературных источников предпочтительнее использовать [1, 2] из списка основной литературы и [1, 6] из списка дополнительной литературы	Письменный опрос
5	Зачет	Решение зачетных заданий	10	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется	Зачет

				пользоваться учебником [1, 2] из списка основной литературы [1, 2] из списка дополнительной литературы	
--	--	--	--	--	--

6.2. Тематика и задания для практических занятий

Семинар 1. Условия образования плазмы в электрохимической системе

На этом занятии обсуждаются режимы прохождения тока через электролизеры при достаточно больших напряжениях. Аспиранты отвечают на вопросы, дают комментарии к альтернативным точкам зрения на спорные вопросы. Главное внимание нужно уделить явления локального кипения электролита, электролизному выделению газа и причинно-следственной связи этих явлений с появлением электрических разрядов в парогазовой фазе.

Семинары 2–4. Эмиссионный механизм прохождения тока через анодную оболочку

На этих занятиях рассматриваются возможные механизмы проводимости парогазовой среды, то есть микрокапельный перенос, электроразрядный и эмиссионный. Аспиранты должны знать необходимые условия для реализации каждого механизма и наличие или отсутствие этих условий в рассматриваемой системе. Наиболее подробно обсуждается эмиссия анионов из кипящего электролита и их перенос на поверхность образца-анода. Следует также уделить внимание особенностям данного механизма: дискретному переносу заряда, ограничению на температуру нагрева обрабатываемой детали, влиянию электрохимических реакций на состояние поверхности детали и др.

Семинары 5–7. Закономерности диффузионного насыщения при анодном нагреве

Первый семинар начинается с повторения курса «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов». Аспиранты должны вспомнить основные положения химико-термической обработки в различных средах. К ним относятся диаграммы состояния железа с насыщающими компонентами, кинетику процессов с выделением тормозящих стадий, состав применяемых сред и температурные режимы обработки. Далее обсуждается специфика условий в электролизной плазме, касающаяся всех обозначенных выше аспектов.

На втором семинаре рассматриваются результаты, опубликованные в ведущих международных журналах, в основном посвященные катодной обработке. В ходе обсуждения и опроса следует уяснить их достоинства и недостатки, условия получения наноразмерных структуры и их возможности положительного влияния на эксплуатационные свойства изделий.

Третий семинар в основном охватывает результаты анодной модификации, в том числе полученные в коллективе Костромского государственного университета. Аспиранты должны знать основные составы электролитов, режимы обработки и характеристики обработанных материалов: толщины упрочненных слоев, их микротвердость, шероховатость, структуру и фазовый состав, а также трибологические и коррозионные свойства.

Семинары 8–10. Химические и электрохимические реакции в парогазовой оболочке

Здесь обсуждаются процессы, определяющие состав парогазовой оболочки, в частности, кипение электролита, испарение летучих компонентов в оболочку, термическое разложение ряда соединений в электролите и в оболочке, электроокисление продуктов разложения на поверхности анода, адсорбция насыщающих компонентов на обрабатываемой поверхности и их диффузия в материал. Аспиранты должны знать основные реакции в оболочке и доказательства их наличия.

На первом семинаре аспиранты делают доклады с использованием данных, опубликованных другими авторами, и своих результатов.

На втором семинаре учащиеся проходят тестирование по всему курсу.

7. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

а) основная:

1. Электролитно-плазменная модификация металлов учебник / П.Н. Белкин, С.Ю. Шадрин, С.А. Кусманов, И.Г. Дьяков ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Костромской государственный университет имени Н. А. Некрасова. - Кострома : КГУ им. Н. А. Некрасова, 2014. - 308 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн.. - ISBN 978-5-7591-1475-8 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=275634> (01.09.2018).

2. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов : в 2-х т. / П.Н. Белкин, А.В. Эпельфельд, В.Б. Людин и др. - Москва : РИЦ

"Техносфера", 2011. - Т. 1. - 464 с. - (Мир материалов и технологий). - ISBN 978-5-94836-267-0 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=88982> (01.09.2018).

б) дополнительная:

1. Белкин П. Н. Электрохимико-термическая обработка металлов и сплавов. М: Мир, 2005. – 336 с.

2. Сивухин, Д.В. Общий курс физики : учебное пособие : в 5-х т. / Д.В. Сивухин. - 5-е изд., стер. - М. : Физматлит, 2009. - Т. 3. Электричество. - 655 с. - ISBN 978-5-9221-0673-3 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=82998>

3. Yerokhin A. L., Nie X., Leyland A., Matthews A., Dowe S. J. Plasma electrolysis for surface engineering // Surface and Coatings Technology. 1999. 122. P. 73-93.

4. M. Aliofkhaezaei, P. Taheri, A. Sabour Rouhaghdam, Ch. Dehghanian, Systematic study of nanocrystalline plasma electrolytic nNitrocarburising of 316L austenitic stainless steel for corrosion protection, J. Mater. Sci. Technol. 23 (2007) 665–671.

5. S.Yu. Shadrin, A.V. Zhironov, P.N. Belkin. Formation Regularities of Gaseous Vapour Plasma Envelope in Electrolyzer // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. – 2016. – Vol. 52, No. 1. – pp. 110–116

6. П. Н. Белкин, С. А. Кусманов Электрохимические особенности электролитно-плазменной химико-термической обработки стальных и титановых сплавов // Физикохимия поверхности и защита металлов. 2016. Т. 52, № 6, с. 654–672.

8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

Информационно-образовательные ресурсы:

1. Федеральный портал «Российское образование»;
2. Официальный сайт министерства образования и науки Российской Федерации
3. Thermalinfo.ru – сайт справочной информации по теплофизическим свойствам веществ в зависимости от температуры и давления

2. <http://diss.rsl.ru>.

- Жаховский В. В. Моделирование фазовых переходов первого рода методом молекулярной динамики : диссертация ... кандидата физико-математических наук / М., 1996
- Лексин М. А. Исследование плёночного режима теплообмена и кризиса при кипении недогретой жидкости : автореферат дис. ... кандидата технических наук / М., 2009
- Петрик П. Т. Пленочное кипение и конденсация в зернистом слое : автореферат дис. ... доктора технических наук / Новосибирск, 1995
- Липнягов Е. В. Исследование характера вскипания перегретых жидкостей вблизи границы достижимого перегрева : диссертация ... кандидата физико-математических наук / Екатеринбург, 2006
- Бараш Л. Ю. Испарение и динамика лежащей на подложке капли : автореферат дис. ... кандидата физико-математических наук / М., 2009
- Митрофанов С. М. Термодинамический кризис кипения. Геометрические характеристики : автореферат дис. ... кандидата физико-математических наук / Екатеринбург, 2006

Электронные библиотечные системы:

1. Университетская библиотека онлайн <http://biblioclub.ru>
2. «Лань» <http://e.lanbook.com/>
3. ЭБС «Znaniium»

9. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Аудитория для лекций и практических занятий:

Корпус УЛК, № 212, количество посадочных мест – 30, мультимедийный комплекс, включающий экран, ноутбук и проектор.

Аудитории для самостоятельной работы:

Читальный зал корпуса «Е», количество посадочных мест – 22, 9 компьютеров (6 для читателей, 3 для сотрудников); 1 сканер.

Читальный зал корпуса «Б1», количество посадочных мест – 200. 3 компьютера для сотрудников; 1 принтер; 1 копир/принтер; 1 проектор; 2 экрана для проектора; 1 ворота «Антивор»; 1 WIFI-точка доступа. Лицензионное ПО: АИБС МаркSQL.

Компьютерный класс, корпус "Е", ауд.227, количество посадочных мест – 16, Блок системный КМ Office ТЗ-4170, монитор Philips. Лицензионное ПО: Windows 8.1 Pro договор № 50155/ЯР4393 от 12.12.2014 с ООО Софт-лайн Проекты, MathCADEducation договор № 208/13 от 10.06.2013 с ООО ЮнитАльфаСофт.