

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

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**ТЕПЛОФИЗИЧЕСКАЯ КАРТИНА АНОДНОГО НАГРЕВА
В ВОДНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТАХ**

Направление подготовки «22.06.01–Технологии материалов»


Направленность «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Квалификация выпускника: Исследователь. Преподаватель исследователь

Кострома


Рабочая программа дисциплины «Теплофизическая картина анодного нагрева в водных электролитах» 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 Шадрин Сергей Юрьевич, заведующий кафедрой общей и теоретической физики, к.т.н., доцент

Рецензент: 
подпись Белкин Павел Николаевич, профессор кафедры общей и теоретической физики, д.т.н., профессор

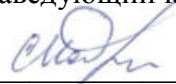
УТВЕРЖДЕНО:

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

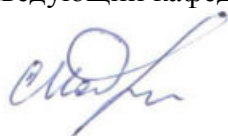
ПЕРЕУТВЕРЖДЕНО:

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



_____ Шадрин Сергей Юрьевич, заведующий кафедрой общей и
подпись
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


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

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Цель дисциплины: формирование у аспирантов углубленных профессиональных знаний о теплофизической стороне явления нагрева 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 распределения энергии в трехфазной системе анод–парогазовая оболочка–электролит при различных режимах электролитно-плазменной обработки;
- роль температуры и скорости нагрева на фазовые превращения в металлах и сплавах, на скорость и закономерности диффузионных, химических и электрохимических процессов;
- 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 температуры в нагреваемом образце и 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 температуры, скорости нагрева, распределения температуры в объеме нагреваемого изделия;

– 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 экономически оценивать производственные и непроизводственные затраты на создание новых материалов и изделий, проводить работу по снижению их стоимости и повышению качества (ОПК-3);

– 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

Дисциплина «Теплофизическая картина анодного нагрева в водных электролитах» относится к вариативной части учебного плана образовательной программы направления подготовки «Технологии материалов». Изучается в 3 и 4 семестрах обучения.

Освоение данной дисциплины необходимо для комплексного понимания научного направления «Скоростная химико-термическая обработка металлов», развиваемого в рамках профиля подготовки «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов». В некоторых методах термической обработки окружающая среда является сложным физическим объектом, например, парогазовой смесью, поэтому для выбора наиболее оптимальных режимов работы в каждом конкретном случае требуется знание особенностей процессов теплообмена и их влияние на конечный результат.

Курс предполагает наличие у аспирантов знаний законов теплопроводности (дисциплина «Основы теплопроводности твердых тел» в программе подготовки бакалавров направления подготовки Физика) и основных закономерностей тепло- и массопереноса при фазовых превращениях (дисциплина «Теплообмен при кипении жидкости» в программе подготовки магистров направления подготовки Физика).

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» и «Электрическая проводимость приэлектродной парогазовой оболочки», 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	4	4
Общая трудоемкость в часах	144	144
Аудиторные занятия в часах, в том числе:	18	20
Лекции	8	12
Практические занятия	10	8
Лабораторные занятия	–	–
Самостоятельная работа в часах	126	124
Форма промежуточной аттестации	зачет (3 семестр), экзамен (4 семестр)	зачет (2 семестр), экзамен (3 семестр)

4.2. Объем контактной работы на 1 обучающегося

Виды учебных занятий	Очная форма	Заочная
Лекции	8	12
Практические занятия	10	8
Лабораторные занятия	–	–
Консультации	2	2
Зачет/зачеты	0,25	0,25
Экзамен/экзамены	0,35	0,35
Курсовые работы	–	–
Курсовые проекты	–	–
Всего	20,6	22,6

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

5.1 Тематический план учебной дисциплины

№	Название раздела,	Всего	Аудиторные занятия	Самостоятельна
---	-------------------	-------	--------------------	----------------

	темы	з.е/час	Лекц.	Практ.	Лаб.	я работа
1	Локальное вскипание электролита в приэлектродной зоне	26	2	2		22
2	Источники тепла в сплошной и устойчивой оболочке	26	2	2		22
3	Баланс тепла при стационарном анодном нагреве	26	2	2		22
4	Толщина парогазовой оболочки	30	2	4		24
	Экзамен	36				36
	Итого:	144	8	10		126

5.1 Тематический план учебной дисциплины (заочная форма обучения)

№	Название раздела, темы	Всего з.е/час	Аудиторные занятия			Самостоятельная работа
			Лекц.	Практ.	Лаб.	
1	Локальное вскипание электролита в приэлектродной зоне	26	2	2		22
2	Источники тепла в сплошной и устойчивой оболочке	28	4	2		22
3	Баланс тепла при стационарном анодном нагреве	26	2	2		22
4	Толщина парогазовой оболочки	28	4	2		22
	Экзамен	36				36
	Итого:	144	12	8		124

5.2. Содержание дисциплины:

Тема 1. Локальное вскипание электролита в приэлектродной зоне

Причины прекращения обычного электролиза в водных растворах. Роль электролизного выделения газа. Условия образования сплошной парогазовой оболочки и прохождения через нее электрического тока. Режим прерываний тока, его особенности, роль полярности активного электрода и параметров внешней цепи (емкости и индуктивности). Критические напряжения существования неустойчивой и устойчивой парогазовой оболочки.

Тема 2. Источники тепла в сплошной и устойчивой оболочке

Закономерности прохождения тока через парогазовую фазу. Роль электрических разрядов в катодной оболочке. Роль электрических разрядов в анодной оболочке. Закономерности эмиссии анионов из кипящего электролита и их переноса на анод в

электрическом поле. Математическое описание прохождения тока через оболочку. Способы выражения объемной мощности источников тепла в оболочке с учетом пространственных зарядов.

Тема 3. Баланс тепла при стационарном анодном нагреве

Распределение температуры в парогазовой оболочке, модели расчета. Экспериментальные измерения тепловых потоков из оболочки в электролит и деталь-анод. Влияние напряжения нагрева на тепловой поток из оболочки в электролит. Закономерности теплообмена между оболочкой и деталью-анодом, попытки описания с помощью коэффициента теплоотдачи. Методы определения потока из оболочки в анод. Доля тепла, поступающего из оболочки в атмосферу при различных размерах нагреваемого электрода.

Тема 4. Толщина парогазовой оболочки

Модели расчета толщины парогазовой оболочки. Влияние толщины оболочки на вольт-амперные и вольт-температурные характеристики нагрева. Проблема экспериментального определения толщины оболочки, возможные методы косвенных измерений.

6. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины

Предметом теории теплообмена являются процессы переноса тепла из одной части пространства в другую. Значимость процесса теплообмена как в природе, так и в технике определяется тем, что свойства тел самым существенным образом зависят от температуры, то есть от их теплового состояния. Последнее же, в свою очередь, определяется условиями теплообмена, которые поэтому оказывают решающее влияние на процессы изменения агрегатного состояния вещества, на течение химических реакций (в частности, процесс горения), механические, электроизоляционные, магнитные и другие свойства тел.

Основной целью курса «Теплофизическая картина анодного нагрева» является формирование у аспирантов представлений о теплофизической картине анодного электролитного нагрева. Явление анодного электролитного нагрева во многом определяется тепловым состоянием в трехфазной системе анод–парогазовая оболочка–электролит, и его понимание невозможно без комплексного изучения с позиции теплофизики, электрохимии и материаловедения.

Дисциплина «Теплофизическая картина анодного нагрева» изучается в третьем и четвертом семестрах и входит в вариативную часть Блока 1 «Дисциплины» образовательной программы подготовки аспирантов. На ее освоение отводится 144 часа, в том числе 94 часа на самостоятельную работу, которая в соответствии с тематическим планом разделена на содержательные блоки с соответствующими часами для самостоятельной работы.

Теплофизическое описание анодного электролитного нагрева строится на аналогии с поверхностным кипением недогретой до температуры насыщения жидкости. Основное отличие заключается в расположении источника тепла, в случае анодного нагрева тепло выделяется непосредственно в парогазовой оболочке, при поверхностном кипении – с поверхности нагрева. При установившемся процессе выделяющееся тепло распределяется в трехфазной системе анод–парогазовая оболочка–электролит. Первые семинары посвящены экспериментальным методикам определения теплового баланса в парогазовой оболочке, поэтому необходимо освоить самостоятельно данные методики. Для этого следует повторить, а некоторым аспирантам изучить заново, теоретические аспекты теории теплообмена, повторив лекции дисциплины «Основы теплопроводности твердых тел».

Модели расчета вольт-температурных и вольт-амперных характеристик необходимо осваивать с самых простых, постепенно усложняя граничные условия и допущения. Особых сложностей здесь не возникает, если освоена дисциплина «Основы теплопроводности твердых тел», так как расчеты не сильно отличаются от моделирования теплообмена в случае плоской стенки. Единственное на что надо обратить особое внимание, это наличие внутренних источников тепла.

Далее кратко рассмотрим каждую тему. Самостоятельная работа аспиранта при работе с темой должна включать: выполнение перечисленных ниже заданий и прохождение соответствующих форм контроля. Особую тщательность требуется проявить при работе с литературными источниками, некоторые книги доступны исключительно в электронном виде, другие сложно найти, то есть нельзя оставлять поиск литературы на последний момент.

6.1. Самостоятельная работа обучающихся по дисциплине

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Задание	Часы	Методические рекомендации по выполнению задания	Форма контроля
1	Локальное вскипание электролита в приэлектродной зоне	Обзор литературы	22	В качестве литературных источников предпочтительнее использовать [1, 2] из списка основной литературы	Устный опрос
2	Источники тепла в сплошной и устойчивой оболочке	Решение индивидуальных заданий	22	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебником [2] из списка основной литературы	Письменный опрос
3	Баланс тепла при стационарном анодном нагреве	Решение индивидуальных заданий	22	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебником [2] из списка основной литературы	Письменный опрос
4	Толщина парогазовой оболочки	Аналитический обзор литературы	24	В качестве литературных источников предпочтительнее использовать [1, 2] из списка основной литературы и [5–8] из списка дополнительной литературы	Письменный опрос
5	Экзамен	Решение зачетных заданий	36	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебником [2] из списка основной	Экзамен

				литературы	
--	--	--	--	------------	--

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	Локальное вскипание электролита в приэлектродной зоне	Обзор литературы	22	В качестве литературных источников предпочтительнее использовать [1, 2] из списка основной литературы	Устный опрос
2	Источники тепла в сплошной и устойчивой оболочке	Решение индивидуальных заданий	22	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебником [2] из списка основной литературы	Письменный опрос
3	Баланс тепла при стационарном анодном нагреве	Решение индивидуальных заданий	22	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебником [2] из списка основной литературы	Письменный опрос
4	Толщина парогазовой оболочки	Аналитический обзор литературы	22	В качестве литературных источников предпочтительнее использовать [1, 2] из списка основной литературы и [5–8] из списка дополнительной литературы	Письменный опрос
5	Экзамен	Решение зачетных заданий	36	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебником [2] из списка основной литературы	Экзамен

6.2. Тематика и задания для практических занятий

Тема 1. Локальное вскипание электролита в приэлектродной зоне

Определение второго критического напряжения по графикам и осциллограммам. Преподаватель кратко напоминает лекционный материал, далее каждый аспирант получает вольт-амперную характеристику разряда конденсатора на разогретый анод при

заданной концентрации электролита и набор осциллограмм, полученных при различном напряжении и указанной концентрации. Результатом работы является получения второго критического напряжения из двух предложенных методов, необходимо подробно остановится на обосновании различных численных значений полученных результатов.

Тема 2. Источники тепла в сплошной и устойчивой оболочке

Решение задач о нахождении электрического поля в парогазовой оболочке при различных допущениях. Получение классических вольт-амперных характеристик, закон Богуславского-Ленгмюра, закон «трех вторых». Получение вольт-амперных характеристик парогазовой оболочки постоянной толщины, сравнение с экспериментальными данными. Выражение для удельной объемной мощности внутренних источников тепла.

Тема 3. Баланс тепла при стационарном анодном нагреве

Получить вольт-температурные и вольт-амперные характеристики для анодного электролитного нагрева коротких образцов (приближение парогазовой оболочки постоянной толщины) условия на границах, выражение для объемной мощности внутренних источников тепла и другие допущения взять из таблицы.

Таблица вариантов

Номер варианта	Граничные условия	Выражение для q_v	Теплопроводность пара
1	Анод: $q = 0$ Электролит: $q = q_{кр2}$	$q_v = f(x)$	$\lambda = \text{const}$
2	Анод: $q = 0$ Электролит: $q = f(U)$	$q_v = \text{const}$	$\lambda = f(T)$
3	Анод: $q = q_A$ Электролит: $q = q_{кр2}$	$q_v = \text{const}$	$\lambda = \text{const}$
4	Анод: $q = 0$ Электролит: $q = q_{кр2}$	$q_v = f(x)$	$\lambda = f(T)$
5	Анод: $q = 0$ Электролит: $q = f(U)$	$q_v = f(x)$	$\lambda = f(T)$
6	Анод: $q = q_A$ Электролит: $q = q_{кр2}$	$q_v = f(x)$	$\lambda = \text{const}$
7	Анод: $q = q_A$ Электролит: $q = f(U)$	$q_v = f(x)$	$\lambda = f(T)$
8	Анод: $q = 0$ Электролит: $q = q_{кр2}$	$q_v = \text{const}$	$\lambda = f(T)$
9	Анод: $q = 0$ Электролит: $q = f(U)$	$q_v = \text{const}$	$\lambda = \text{const}$
10	Анод: $q = 0$ Электролит: $q = q_{кр2}$	$q_v = \text{const}$	$\lambda = \text{const}$

Определение плотности теплового потока из парогазовой оболочки в анод по данным температурных измерений, обоснование одномерной модели расчета теплового потока. Знакомство с нестационарными схемами, методами решения некорректных задач вычислительной математики.

Определение тепловых потоков из оболочки в электролит и атмосферу, особенности расчета и практическая реализация.

Тема 4. Толщина парогазовой оболочки

Прямое определение толщины парогазовой оболочке по фотографиям в прямой и обратной проекции. Модели пленочного кипения, расчет толщины парового слоя. Модификация моделей пленочного кипения к условиям электролитно-плазменного нагрева, расчет толщины по простейшим моделям.

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

а) основная:

1. 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).

2. Электролитно-плазменная модификация металлов : учебник / П.Н. Белкин, С.Ю. Шадрин, С.А. Кусманов, И.Г. Дьяков ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Костромской государственной 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).

3. Лекции по теплотехнике : конспект лекций / Министерство образования и науки Российской Федерации, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» ; сост. В.А. Никитин. - Оренбург : ОГУ, 2011. - 532 с. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=259242> (01.09.2018).

б) дополнительная:

1. Дьяконов, В.Г. Основы теплопередачи : учебное пособие / В.Г. Дьяконов, О.А. Лонцаков ; Министерство образования и науки России, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет». - Казань : Издательство КНИТУ, 2011. - 230 с. : ил., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-7882-1114-5 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=258437> (01.09.2018).

2. Теплопередача: учебное пособие / Д.Г. Амирханов. – Казань: Изд-во Казан. гос технол. ун-т, 2008. – 119 с. / http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=258943

3. Архипов, В. Физико-химические основы процессов теплообмена : учебное пособие / В. Архипов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет». - Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2015. - 199 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн.. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=442086> (01.09.2018).

4. Мирзоев, Р.А. Анодные процессы электрохимической и химической обработки металлов: учебное пособие / Р.А. Мирзоев, А.Д. Давыдов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. - Санкт-Петербург : Издательство Политехнического университета, 2013. - 382 с. : схем., ил., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-7422-3846-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=362985> (23.01.2018).

5. Shadrin S.Yu., Belkin P.N. Analysis of models for calculation of temperature of anode plasma electrolytic heating // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2012. – v. 55. – pp. 179-186.

6. I.G.D'yakov, V.S.Belkin, S.Yu.Shadrin, P.N. Belkin. Peculiarities of Heat Transfer at Anodic Plasma Electrolytic Treatment of Cylindrical Pieces, Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2014, Vol. 50, No 4, pp. 346–355.

7. A.V. Zhironov, P.N. Belkin, S.Yu. Shadrin Heat transfer in the anode region in plasma-electrolytic heating of a cylindrical sample // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – Vol. 90, №. 4. – 2017 – pp. 862–872.

8. S.Yu. Shadrin, A.V. Zhironov, P.N. Belkin Thermal features of plasma electrolytic heating of titanium // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2017. – Vol. 107. – pp. 1104-1109.

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, MathCAD Education договор № 208/13 от 10.06.2013 с ООО ЮнитАльфаСофт.