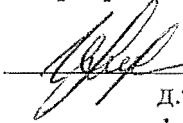


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

**«Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет»**

**УТВЕРЖДАЮ**

Руководитель программы аспирантуры

  
Ю.Д. Шицын  
д.т.н., профессор  
кафедры СПМиТМ

« 17 » « март » 2022 г.

**Рабочая программа дисциплины  
«Применение математического моделирования  
в инженерных расчетах при сварке»  
по программе аспирантуры  
«Сварка, родственные процессы и технологии»**

Научная специальность	2.5.8. Сварка, родственные процессы и технологии
Направленность (профиль) программы аспирантуры	Сварка, родственные процессы и технологии
Выпускающая(ие) кафедра(ы)	Сварочное производство, метрология и технология материалов
Форма обучения	Очная
Курс: 2	Семестр (ы): 3
Виды контроля с указанием семестра:	
Экзамен:	Зачет: 3
	Диф.зачет

Пермь 2022

## **1. Общие положения**

Рабочая программа дисциплины «Применение математического моделирования в инженерных расчетах при сварке» разработана на основании следующих нормативных документов:

- Приказ Минобрнауки России от 20.10.2021 N 951 "Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)";
- Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 N 2122 "Об утверждении Положения о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)";
- Самостоятельно устанавливаемые требования к реализуемым программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре Пермского национального исследовательского политехнического университета;
- Базовый план по программе аспирантуры;
- Паспорт научной специальности.

**1.1 Цель учебной дисциплины** – формирование комплекса знаний, умений и навыков в области моделирования сварочных процессов с использованием математического программного обеспечения.

### **1.2 Место учебной дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Применение математического моделирования в инженерных расчетах при сварке» является дисциплиной по выбору образовательного компонента плана аспиранта.

Дисциплина используется при подготовке к сдаче кандидатского экзамена по специальности 2.5.8. Сварка, родственные процессы и технологии.

## **2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

В результате изучения дисциплины аспирант должен демонстрировать следующие результаты:

### **Знать:**

- методы и приемы получения результатов экспериментов и их визуализации на базе полученной математической модели с использованием компьютера;
- структуру моделирования и требования по составлению технологического процесса;
- алгоритмы статистической обработки результатов эксперимента;
- основные понятия планирования эксперимента;
- способы задания граничных условий для краевых задач теплопроводности;
- последовательность построения математической модели процесса.

### **Уметь:**

- оценивать влияние режимов сварки на форму сварного шва и термический цикл сварки;
- проводить планирование первого и второго порядка с составлением уравнения регрессии;
- обрабатывать результаты эксперимента и строить уравнения регрессии для процессов сварки;
- решать краевые задачи теплопроводности для процессов сварки.

### Владеть:

- навыками оптимизации технологических процессов в сварке с использованием математического аппарата;
- навыками планирования эксперимента при исследовании сварочных процессов;
- навыками построения математических моделей сварочных процессов, наиболее приближенных к реальным сварочным процессам.

### 3. Структура учебной дисциплины по видам и формам учебной работы

Таблица 1

Объем и виды учебной работы

№ п.п.	Вид учебной работы	Трудоемкость, ч
		3 семестр
1	Аудиторная работа	39
	В том числе:	
	Лекции (Л)	
	Практические занятия (ПЗ)	32
2	Контроль самостоятельной работы (КСР)	7
	Самостоятельная работа (СР)	69
	Форма итогового контроля:	Зачет

### 4. Содержание учебной дисциплины

#### 4.1. Содержание разделов и тем учебной дисциплины

Раздел 1. Планирование эксперимента при исследовании сварочных процессов.

(Л – 0 ч., ПР – 16 ч., СР – 36 ч., КСР – 2 ч.)

Тема 1. Введение в планирование эксперимента. Понятие инженерия. Основные понятия математического моделирования и планирования эксперимента: функция отклика, переменные факторы процесса, параметр оптимизации. Полный и дробный факторный эксперимент.

Тема 2. Факторный эксперимент первого порядка Построение матрицы планирования полного и дробного факторного эксперимента. Обработка результатов эксперимента, построение уравнения регрессии. Крутое восхождение по поверхности отклика.

Тема 3. Факторный эксперимент второго порядка. Выбор числа уровней. Ортогональное и ротатабельное планирование второго порядка. Построение уравнения регрессии второго порядка. Обобщенный параметр оптимизации.

Раздел 2. Построение математических моделей, описывающих тепловые процессы при сварке.

(Л – 0 ч., ПР – 16 ч., СР – 36 ч., КСР – 2 ч.)

Тема 4. Применение планирования эксперимента в инженерных расчетах при сварке. Построение математических моделей, описывающих взаимосвязь распределенности сварочных источников нагрева с параметрами режима сварки. Оптимизация процесса сварки в узкую разделку. Оптимизация технологии вибродуговой наплавки в углекислом газе.

Тема 5. Моделирование как способ научного познания Физическое, символическое (математическое) и численное моделирование на компьютере. Основные требования к математической модели. Алгоритм построения математической модели.

Тема 6. Численное моделирование на компьютере в инженерных расчетах при сварке Знакомство с методом сеток как методом численного моделирования. Последовательность действий для решения уравнения теплопроводности методом сеток на компьютере

#### 4.2. Перечень тем практических занятий

Таблица 2

Темы практических занятий (из пункта 4.1)

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы практического занятия	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства
1	3	Энергетические свойства сжатой дуги и плазменной струи. Сжатая дуга прямого действия и независимая сжатая дуга. Строение сжатой дуги. Электрические и тепловые характеристики сжатой дуги	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
2	5	Комбинированные процессы плазменной сварки. Плазменная сварка с подогревом присадочной проволоки. Импульсная плазменная сварка. Плазменная сварка плавящимся электродом.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.

#### 4.3. Перечень тем для самостоятельной работы аспирантов

Самостоятельная работа аспирантов заключается в теоретическом изучении конкретных вопросов и выполнении творческих заданий.

Таблица 3

Темы самостоятельных заданий

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы самостоятельной работы	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства
1	2	1. Исследование влияния параметров режима сварки на форму шва при автоматической сварке под слоем флюса и сварке в среде углекислого газа с построением линейного уравнения регрессии. 2. Исследование модифицирования чистого алюминия молибденом с построением линейного уравнения регрессии и оптимизацией процесса	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.

		методом крутого восхождения по поверхности отклика		
2	5	1. Построение математических моделей, описывающих тепловые процессы при сварке с учетом взаимосвязи закона распределения источника нагрева и параметров режима сварки. 2. Оптимизация технологии сварки в узкую разделку с построением линейного уравнения регрессии и оптимизацией по обобщенному параметру оптимизации. 3. Оптимизация вибродуговой наплавки в среде углекислого газа с построением уравнения регрессии второго порядка и оптимизацией графоаналитическим методом.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.

### 5. Методические указания для аспирантов по изучению дисциплины

При изучении дисциплины «Применение математического моделирования в инженерных расчетах при сварке» аспирантам целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически;
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела;
3. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции;

### 6. Перечень учебно-методического, библиотечно-справочного и информационного, информационно-справочного обеспечения для работы аспиранта по дисциплине

#### 6.1. Библиотечные фонды и библиотечно-справочные системы

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке+кафедре; местонахождение электронных изданий
1	2	3
<b>1 Основная литература</b>		
1	Специальные методы сварки: учебное пособие / Ю.М. Тыткин, Д.Н. Трушников, В.Я. Беленький.– Пермь: Из-во ПНИПУ, 2012.– 86 с.	5+ЭБ
2	Плазменные технологии и оборудование: учебное пособие / Ю.Д. Щицын.- Пермь: Из-во ПНИПУ, 2014. -75 с.	1+ЭБ
3	Плазменная обработка материалов: учебное пособие / Ю.Д. Щицын.- Пермь: Из-во ПНИПУ, 2014. -143 с.	ЭБ

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке+кафедре; местонахождение электронных изданий
1	2	3
4	Теория сварочных процессов. Металлургия. Металловедение. Свариваемость / Кривоносова Е.А.– Изд-во Перм. гос. тех. ун-т.– Пермь, 2007 г., 259 с.	57 + ЭБ
5	Теория сварочных процессов./ Неровный В.М .-Москва, Изд-во МГТУ им. Баумана. 2007, 742 с.	80
6	Математическое моделирование и основы научных исследований в сварке : учебное пособие для вузов / И.Ю.Летягин; Пермский национальный исследовательский политехнический университет . – Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2013. – 130 с.	15+ЭБ
7	Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных : учебное пособие для магистров / Н. И. Сидняев. – Москва : Юрайт, 2012. – 399 с.	2012 г. – 8 2015 г. – 1
8	Математическая обработка результатов эксперимента : учебное пособие для вузов / Г. Б. Лялькина, О. В. Бердышев ; Пермский национальный исследовательский политехнический университет. – Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2013. – 77 с.	ЭБ
9	Контроль качества сварных соединений : учебное пособие / Т. В. Ольшанская ; Пермский национальный исследовательский политехнический университет . – Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2014 . – 156 с	5+ЭБ
<b>2 Дополнительная литература</b>		
<b>2.1 Учебно-методические, научные издания</b>		
1	Конструкционные материалы. Свариваемость и сварка / Учебное пособие / Ольшанская Т.В. – Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-т.– Пермь, 2015 г., 242 с.	5+ЭБ
2	Пайка металлов / Учебное пособие / Кривоносова Е.А. – Изд во Перм. нац. исслед. политехн. ун-т.– Пермь, 2012 г., 216 с.	41+ЭБ
3	Специальные методы сварки / Учебное пособие / Ю.М. Тыткин, Д.Н. Трушников, В.Я. Беленький – Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-т.– Пермь, 2012 г., 86 с.	4+ЭБ
4	Электронно-лучевая сварка: монография / Младенов Г.М., Трушников Д.Н., Беленький В.Я., Колева Е.Г. – Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-т.– Пермь, 2014 г., 374 с.	5+ЭБ
5	Л.К. Лещинский и др. Плазменное поверхностное упрочнение: Изд-во Техника, Киев. - 1990. – 109 с.	3
6	В.В. Кудинов и др. Нанесение покрытий плазмой: Изд-во Наука, М. - 1990. – 406 с.	2
7	Ширшов И.Г., Котиков В.Н. Плазменная резка: Изд-во Машиностроение, Л.-1987.–192с.	3
8	Введение в теорию планирования эксперимента: учебное пособие для вузов / Н. И. Сидняев, Н. Т. Вилисова ; Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011 .	5+ЭБ

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке+кафедре; местонахождение электронных изданий
1	2	3
	– 463 с.	
	Начала инженерного творчества : учебное пособие / Б. Ф. Потапов, Р. В. Бульбович, А. Ю. Крюков ; Пермский государственный технический университет .– Пермь : Изд во ПГТУ, 2010 .– 189 с	61+ЭБ
<b>2.2 Периодические издания</b>		
1	Сварка. Диагностика: научно-технический и производственный журнал по сварке, контролю и диагностике / Национальное агентство контроля и сварки.	
2	Сварочное производство: научно-технический и производственный журнал / Технология машиностроения; – Москва: Машиностроение.	
3	Автоматическая сварка: Сварка. Резка. Наплавка. Пайка. Нанесение покрытий: международный научно-технический и производственный журнал / Национальная академия наук Украины; Институт электросварки им. Е.О. Патона; Международная ассоциация Сварка. — Киев: Сварка.	
	Журнал «Сварка и Диагностика»	
	Журнал «Сварочное производство»	
	Журнал «Автоматическая сварка»	
<b>2.3 Нормативно-технические издания</b>		
1	ГОСТ 19521-74. Сварка металлов. Классификация.	Техэксперт
2	ГОСТ 7512-82 (2003). Соединения сварные. Контроль неразрушающий. Радиографический метод.	Техэксперт
3	ГОСТ 12.3.003-86 (2000). Работы электросварочные. Требования безопасности.	Техэксперт
4	ГОСТ 7.32-2001. Межгосударственный стандарт. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.	КонсультантПлюс

## 6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. Электронная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных электрон. док., издан. в Изд-ве ПНИПУ] / Перм. нац. исслед. политехн. ун-т, Науч. б-ка. – Пермь, 2016. – Режим доступа: <http://elib.pstu.ru>, свободный. – Загл. с экрана.

2. Электронно-библиотечная система Издательство «Лань» [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : электрон. версии кн., журн. по гуманит., обществ., естеств. и техн. наукам] / Электрон.-библ. система «Изд-ва «Лань». – Санкт-Петербург, 2010-2016. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

3. ProQuest Dissertations & Theses Global [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : дис. и дипломные работы на ин. яз. по всем отраслям знания] / ProQuest LLC. – Ann Arbor, 2016. – Режим доступа: <http://search.proquest.com/pqdtglobal/dissertations>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

4. Электронная библиотека диссертаций РГБ [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : электрон. версии дис. и автореф. дис. по всем отраслям знания] / Электрон. б-ка дис. – Москва, 2003-2016. – Режим доступа: <http://diss.rsl.ru>, компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

5. Cambridge Journals [Electronic resource : полнотекстовая база данных : электрон. журн. по гуманит., естеств., и техн. наукам на англ. яз.] / University of Cambridge. – Cambridge : Cambridge University Press, 1770-2012. – Режим доступа: <http://journals.cambridge.org/>. – Загл. с экрана. 11.

### 6.2.1. Информационные и информационно-справочные системы

1. Информационная система Техэксперт: Интранет [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных правовой информ. : законодат. и норматив. док., коммент., журн. и др.] / Кодекс. – Версия 6.3.2.22, сетевая, 50 рабочих мест. – Санкт-Петербург, 2009-2013. – Режим доступа: Компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

2. Консультант Плюс [Электронный ресурс : справочная правовая система : документы и комментарии : универсал. информ. ресурс]. – Версия Проф, сетевая. – Москва, 1992– . – Режим доступа: Компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, свободный.

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

### 7.1. Основное учебное оборудование. Рабочее место аспиранта.

Таблица 4

№ п.п.	Наименование и марка оборудования (стенда, макета, плаката, лабораторное оборудование)	Кол-во ед.	Форма приобретения / владения (собственность, оперативное управление, аренда и т.п.)	Номер аудитории
1	2	3	4	5
1	Персональные компьютеры: Intel® Core™2 CPU 6320 @1,86 GHz 1,87 ГГц, 2,00 Гб ОЗУ, Window XP; Intel® Core™2 CPU 420 @1,60	16	Оперативное управление	109, к. А
	Мультимедиа проектор Panasonic PTLB50NTE		Оперативное управление	109, к. А
	Проекторный экран DRAPER DIPLOMAT		Оперативное управление	109, к. А
	Доска магнитная		Оперативное управление	109, к. А
	Установка для электронно-лучевой сварки ЭЛА-6ВЧ	1	Собственность	050, гл.к.



	1. Универсальный комплекс плазменной обработки на базе станка У – 563 - 1 шт. 2. Установка для плазменной резки ПУРМ–180М – 1 шт.	1 1	Собственность	053 гл.к.
	1. Источник питания INVERTEC - V405 – Т 1 шт. 2. Источник питания ESAB - LHF – 400 - 1 шт. 3. Специализированная консольно-сварочная установка для плазменной сварки с числовым программным управлением ЧПУ СКСУ -1500 4. Блок охлаждения «beCool 2.2»	1 1 1 1	Собственность	051 гл.к.
	Роботизированный комплекс ARC MATE 100IC	1	Собственность	049 гл.к.
	Автоматизированная лазерная установка ALFA-300T	1	Собственность	111 к.А

## 8. Фонд оценочных средств

Освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра. Формой контроля освоения результатов обучения по дисциплине является зачет, проводимый с учетом результатов текущего контроля.

### 8.1. Описание показателей и критериев оценивания, описание шкал оценивания.

Контроль качества освоения дисциплины включает в себя текущий контроль успеваемости и промежуточную аттестацию аспирантов

#### Текущий контроль

Текущий контроль успеваемости обеспечивает оценку освоения дисциплин и проводится в форме собеседования и защиты отчета о творческом задании.

#### • Собеседование

Для оценки **знаний** аспирантов проводится собеседование в виде специальной беседы преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной для выяснения объема знаний по определенному разделу, теме, проблеме.

Собеседование может выполняться в индивидуальном порядке или группой аспирантов.

#### • Защита отчета о творческом задании

Для оценки **умений и владений** аспирантов используется творческое задание, имеющее нестандартное решение и позволяющее интегрировать знания различных областей, аргументировать собственную точку зрения.

Творческие задания могут выполняться в индивидуальном порядке или группой аспирантов.

#### Промежуточная аттестация

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего контроля. Промежуточная аттестация проводится в виде зачета по дисциплине.

• **Шкалы оценивания результатов обучения при сдаче зачета:**

Оценка результатов обучения по дисциплине проводится по шкале оценивания «зачтено», «незачтено» путем выборочного контроля во время зачета.

Шкалы и критерии оценки результатов обучения при сдаче зачета приведены в табл.

5.

Таблица 5

Шкала оценивания результатов освоения на зачете

Оценка	Критерии оценивания
<i>Зачтено</i>	<p>Аспирант продемонстрировал сформированные и систематические знания при ответе на теоретический вопрос билета. Показал отличные <b>знания</b> в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на все или большинство дополнительных вопросов.</p> <p>Аспирант правильно выполнил контрольное задание билета. Показал успешное и систематическое <b>применение</b> полученных знаний и <b>умений</b> при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на все или большинство дополнительных вопросов.</p>
<i>Незачтено</i>	<p>При ответе на теоретический вопрос билета аспирант продемонстрировал фрагментарные <b>знания</b> при ответе на теоретический вопрос билета. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неправильных ответов.</p> <p>При выполнении контрольного задания билета аспирант продемонстрировал частично освоенное <b>умение</b> и <b>применение</b> полученных навыков при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неточностей.</p>

**9. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине**

Задания для текущего контроля и проведения промежуточной аттестации должны быть направлены на оценивание:

1. уровня освоения теоретических понятий, научных основ профессиональной деятельности;
2. степени готовности аспиранта применять теоретические знания и профессионально значимую информацию и оценивание сформированности когнитивных умений.
3. приобретенных умений, профессионально значимых для профессиональной деятельности.

**10. Типовые контрольные вопросы и задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов освоения дисциплины**

Перечень контрольных вопросов и заданий для сдачи кандидатского экзамена по научной специальности 2.5.8. «Сварка, родственные процессы и технологии» разработан с учетом научных достижений научно-исследовательской школы кафедры.

Типовые творческие задания:

1. Решить уравнение теплопроводности при сварке методом функций Грина с подробным описанием способа.
2. Составить алгоритм построения математической модели в инженерных расчетах при сварке.
3. Решить уравнение теплопроводности при действии неподвижного и подвижного источника нагрева, с учетом теплообмена с окружающей средой.

Типовые контрольные задания:

1. Описание факторного эксперимента первого порядка: построение матрицы планирования полного и дробного факторного эксперимента.
2. Вывод дифференциального уравнения теплопроводности при нагреве объемного тела (параллелепипеда).
3. Как определяются погрешности заданных расчетов.
4. Дать определение. Температурное поле, изотермические поверхности, изотермические линии, термический цикл сварки, теплофизические свойства материалов (плотность, удельная теплоемкость, коэффициент теплопроводности, коэффициент температуропроводности, коэффициент теплоотдачи, коэффициент температуропроводности).
5. Основные требования к математической модели.
6. Построение математической модели стыковой контактной сварки, полученной решением дифференциального уравнения теплопроводности методом функций Грина (электрический ток как источник нагрева, применяемые расчетные схемы, построение математической модели для одной из схем на выбор).
7. Построение математической модели ручной дуговой сварки, полученной решением дифференциального уравнения теплопроводности методом функций Грина (сварочная дуга как источник нагрева, применяемые расчетные схемы, построение математической модели для одной из схем на выбор).
8. Построение математической модели электронно-лучевой сварки, полученной решением дифференциального уравнения теплопроводности методом функций Грина (электронный луч как источник нагрева, применяемые расчетные схемы, построение математической модели для одной из схем на выбор).

Полный комплект вопросов и заданий в форме утвержденных билетов хранится на кафедре «СПМиТМ».

**Лист регистрации изменений**

<b>№ п.п.</b>	<b>Содержание изменения</b>	<b>Дата, номер протокола заседания кафедры. Подпись заведующего кафедрой</b>
1	2	3
1		
2		
3		
4		