

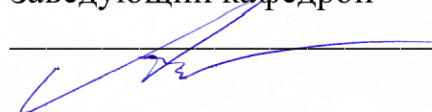
МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тульский государственный университет»

Политехнический институт  
Кафедра «Машиностроение и материаловедение»

Утверждено на заседании кафедры  
«МиМ»  
«30» января 2023 г., протокол № 6

Заведующий кафедрой

 А.В. Анцев

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)  
«Компьютерное моделирование литейных процессов»**

**основной профессиональной образовательной программы  
высшего образования – программы бакалавриата**

по направлению подготовки  
**15.03.01 Машиностроение**

с направленностью (профилем)  
**Цифровые технологии аддитивного и литейного производства**

Форма обучения: очная, заочная

Идентификационный номер образовательной программы: 150301-05-23

Тула 2023 год

**ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ**  
**рабочей программы дисциплины (модуля)**

**Разработчик:**

Маленко П.И., доц., к.т.н., доц.

*(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)*



*(подпись)*

## **1 Цель и задачи освоения дисциплины (модуля)**

**Целью** освоения дисциплины (модуля) является приобретение будущими специалистами необходимого уровня компетенции для грамотного использования в литейном производстве систем компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП ПОЛИГОН).

**Задачами** освоения дисциплины (модуля) являются:

- формирование общих представлений о процессах и теории формирования отливки, необходимых для анализа СКМ ЛП;
- знакомство с основами численных методов (конечных разностей и конечных элементов), которые используются для построения СКМ ЛП;
- знакомство с наиболее популярными в отечественном литейном производстве СКМ ЛП;
- получение практических навыков по решению конкретных задач по моделированию процессов формирования отливки с помощью СКМ ЛП ПОЛИГОН.

## **2 Место дисциплины (модуля) в структуре основной профессиональной образовательной программы**

Дисциплина (модуль) относится к части основной профессиональной образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений.

Дисциплина (модуль) изучается в 6 и 7 семестрах (при очной форме обучения) и в 6 и 7 семестрах (при заочной форме обучения).

## **3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения основной профессиональной образовательной программы (формируемыми компетенциями) и индикаторами их достижения, установленными в общей характеристике основной профессиональной образовательной программы, приведён ниже.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

### **Знать:**

1) современные CAD-системы, их функциональные возможности для проектирования геометрических 2D- и 3D-моделей изделий средней сложности (код компетенции – ПК-4, код индикатора – ПК-4.1).

### **Уметь:**

1) использовать CAD-системы для выявления нетехнологичных элементов конструкции литой детали (код компетенции – ПК-4, код индикатора – ПК-4.2).

### **Владеть:**

1) навыками применения современных CAD-систем в литейном производстве (код компетенции – ПК-4, код индикатора – ПК-4.3).

Полные наименования компетенций и индикаторов их достижения представлены в общей характеристике основной профессиональной образовательной программы.

## 4 Объем и содержание дисциплины (модуля)

### 4.1 Объем дисциплины (модуля), объем контактной и самостоятельной работы обучающегося при освоении дисциплины (модуля), формы промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

Номер семестра	Формы промежуточной аттестации	Общий объем в зачетных единицах	Общий объем в академических часах	Объем контактной работы в академических часах						Объем самостоятельной работы в академических часах
				Лекционные занятия	Практические (семинарские) занятия	Лабораторные работы	Клинические практические занятия	Консультации	Промежуточная аттестация	
Очная форма обучения										
6	ЗЧ	2	72	16	0	32	–	0	0,1	23,9
7	КП, Э	4	144	14	0	42	–	4,5	0,5	83
Итого	–	6	216	30	0	74	–	4,5	0,6	106,9
Заочная форма обучения										
6	ЗЧ	2	72	2	0	6	–	0	0,1	63,9
7	КП, Э	4	144	2	0	6	–	4,5	0,5	131
Итого	–	6	216	4	0	12	–	4,5	0,6	194,9

Условные сокращения: Э – экзамен, ЗЧ – зачет, ДЗ – дифференцированный зачет (зачет с оценкой), КП – защита курсового проекта, КР – защита курсовой работы.

### 4.2 Содержание лекционных занятий

#### Очная форма обучения

№ п/п	Темы лекционных занятий
<i>6 семестр</i>	
1	Введение: значение, цели, задачи и структура дисциплины; общая характеристика процесса использования СКМ ЛП для принятия решений по технологии изготовления отливки.
2	Основные сведения о процессах и теории формирования отливки, необходимые для анализа СКМ ЛП. Понятие процессов формирования отливки.
3	Основные сведения о процессах и теории формирования отливки, необходимые для анализа СКМ ЛП. Цели теории формирования отливки.
4	Основные сведения о процессах и теории формирования отливки, необходимые для анализа СКМ ЛП. Характеристика процессов формирования отливки и методологические подходы к их изучению. Общие сведения.

№ п/п	Темы лекционных занятий
5	Основные сведения о процессах и теории формирования отливки, необходимые для анализа СКМ ЛП. Характеристика процессов формирования отливки и методологические подходы к их изучению. Процесс затвердевания расплава в форме. Характеристика процесса затвердевания расплава в форме. Методологические подходы к изучению процесса затвердевания расплава в форме. Решение задач затвердевания на тепловом уровне. Решение задач затвердевания на теплокинетическом уровне. Соотношение результатов решения задачи затвердевания на различных уровнях. Заполнение формы расплавом. Заполнение формы расплавом.
6	Основные сведения о процессах и теории формирования отливки, необходимые для анализа СКМ ЛП. Характеристика процессов формирования отливки и методологические подходы к их изучению. Классификация задач теории формирования отливки.
7	Основные сведения о процессах и теории формирования отливки, необходимые для анализа СКМ ЛП. Характеристика процессов формирования отливки и методологические подходы к их изучению. История развития математического моделирования процессов формирования отливки.
8	Основы численных методов, применяемых для моделирования процессов формирования отливки. Общие сведения.
9	Основы численных методов, применяемых для моделирования процессов формирования отливки. Основы метода конечных разностей. Разностная схема и разностное решение. Сходимость, аппроксимация и устойчивость. Явная и неявная схемы. Понятие о методе теплового баланса. Конечно-разностные схемы для многомерных задач. Разбивка исследуемой области на элементарные объемы. Характеристика разностных схем, применяемых для решения многомерных задач.
10	Основы численных методов, применяемых для моделирования процессов формирования отливки. Основы метода конечных элементов. Основные положения МКЭ. Основная концепция метода конечных элементов. Основные этапы решения задачи теплопроводности МКЭ. Иллюстрация основной концепции метода. Дискретизация области. Виды элементов. Нумерация узлов. Виды элементов. Разбиение области на элементы. Нумерация узлов. Применение МКЭ для решения двухмерной нестационарной задачи теплопроводности. Формулировка задачи теплопроводности. Вариационная постановка задачи. Построение дискретной модели. Определение функций элементов. Составление системы разностных уравнений МКЭ. Решение системы линейных алгебраических уравнений. Программная реализация МКЭ.
<i>7 семестр</i>	
11	СКМ ЛП ПОЛИГОН. Общая характеристика СКМ ЛП ПОЛИГОН.
12	СКМ ЛП ПОЛИГОН. Моделирования процесса затвердевания отливки. Математическая модель. Методика численного решения задачи.
13	СКМ ЛП ПОЛИГОН. Моделирование процесса образования пористости. Сплавы, для которых возможно моделирование образование пористости с помощью СКМ ЛП Полигон. Расчет объемной усадки. Механизмы образования усадочных дефектов, положенные в основу решения задачи по моделированию пористости. Механизм образования макропористости. Механизм образования микропористости. Принципы решения задачи по моделированию формирования макропористости. Выявление изолированных зон. Определение наследования зон, начальной высоты зеркала и объема усадки. Определение объема усадки. Определение эффективной площади зеркала и пористости. Задание численных значений параметров модели. Принципы решения задачи по формирования микропористости. Аprobация моделей.
14	СКМ ЛП LVMFlow. Общая характеристика СКМ ЛП LVMFlow.

№ п/п	Темы лекционных занятий
15	СКМ ЛП LVMFlow. Структура и возможности СКМ LVMFlow. Подсистема Банк материалов. Подсистема 3D Импорт. Подсистема Препроцессор. Подсистема Кристаллизация. Подсистема Течение быстро. Подсистема Течение. Подсистема Полная задача. Подсистема Банк паспортов. Подсистема Настройки.
16	СКМ ЛП PROCAST. Общие сведения. Тепловой анализ. Анализ потоков. Сеточный генератор. Радиационный анализ. Прочностной анализ. Моделирование микроструктур. Модуль обратного моделирования.

### Заочная форма обучения

№ п/п	Темы лекционных занятий
<i>6 семестр</i>	
1	Введение: значение, цели, задачи и структура дисциплины; общая характеристика процесса использования СКМ ЛП для принятия решений по технологии изготовления отливки.
<i>7 семестр</i>	
2	Общая характеристика СКМ ЛП: СКМ ЛП ПОЛИГОН, СКМ ЛП LVMFlow, СКМ ЛП PROCAST.

### 4.3 Содержание практических (семинарских) занятий

Занятия указанного типа не предусмотрены основной профессиональной образовательной программой.

### 4.4 Содержание лабораторных работ

#### Очная форма обучения

№ п/п	Наименования лабораторных работ
<i>6 семестр</i>	
1	Первоначальное знакомство с СКМ ЛП ПОЛИГОН.
2	Первоначальное знакомство с программой ПИФАГОР СКМ ЛП ПОЛИГОН.
3	Функции удаления, работа с внешними носителями информации и использование фона в программе ПИФАГОР СКМ ЛП ПОЛИГОН.
4	Построение вспомогательных и основных изображений с помощью программы ПИФАГОР.
5	Использование функций копирования и переноса при построении изображений с помощью программы ПИФАГОР СКМ ЛП ПОЛИГОН.
6	Построение двумерной конечноэлементной сетки, моделирующей сечение отливки и литейной формы, с помощью программы ДЕКАРТ - 2D СКМ ЛП ПОЛИГОН.
7	Построение двумерной расчетной геометрической модели отливки и литейной формы с помощью программы МАСТЕР-2D СКМ ЛП ПОЛИГОН.
<i>7 семестр</i>	
8	Расчет температурного и фазового полей отливки и литейной формы при решении задачи в двумерной постановке с помощью программы ФУРЬЕ СКМ ЛП ПОЛИГОН.
9	Расчет микро- и макропористости в отливке при решении задачи в двумерной постановке с помощью программы ПАСКАЛЬ СКМ ЛП ПОЛИГОН.

№ п/п	Наименования лабораторных работ
10	Визуализация результатов решения задач в двухмерной постановке с помощью программы МИРАЖ - 2D СКМ ЛП ПОЛИГОН.
11	Построение 2.5-мерной расчетной геометрической модели отливки и литейной формы с помощью программы МАСТЕР-2ДСКМ ЛП ПОЛИГОН.
12	Подготовка файла динамической геометрии при помощи программы СПЛИТТЕР- 2D СКМ ЛП ПОЛИГОН и его использование при моделировании тепловых процессов с помощью программы ФУРЬЕ.
13	Построение полей критериев с помощью программы КРИТЕРИЙ СКМ ЛП ПОЛИГОН.
14	Визуализация временных зависимостей различных величин, отражающих результаты расчетов, в узлах сетки конечных элементов с помощью программы МИРАЖ-Л СКМ ЛП ПОЛИГОН.
15	Моделирование деформированного состояния затвердевающей отливки при решении задачи в двухмерной постановке с помощью программы ГУК СКМ ЛП ПОЛИГОН.

### Заочная форма обучения

№ п/п	Наименования лабораторных работ
<i>6 семестр</i>	
1	Первоначальное знакомство с системой компьютерного моделирования ПОЛИГОН.
2	Первоначальное знакомство с программой ПИФАГОР системы компьютерного моделирования ПОЛИГОН.
3	Построение вспомогательных и основных изображений с помощью программы ПИФАГОР.
<i>7 семестр</i>	
4	Расчет температурного и фазового полей отливки и литейной формы при решении задачи в двухмерной постановке с помощью программы ФУРЬЕ СКМ ЛП ПОЛИГОН.
5	Расчет микро- и макропористости в отливке при решении задачи в двухмерной постановке с помощью программы ПАСКАЛЬ СКМ ЛП ПОЛИГОН.
6	Моделирование деформированного состояния затвердевающей отливки при решении задачи в двухмерной постановке с помощью программы ГУК СКМ ЛП ПОЛИГОН.

### 4.5 Содержание клинических практических занятий

Занятия указанного типа не предусмотрены основной профессиональной образовательной программой.

### 4.6 Содержание самостоятельной работы обучающегося

#### Очная форма обучения

№ п/п	Виды и формы самостоятельной работы
<i>6 семестр</i>	
1	Подготовка к лабораторным работам
2	Самостоятельное изучение тем: Основные сведения о процессах и теории формирования отливки, необходимые для анализа СКМ ЛП
3	Подготовка к промежуточной аттестации и ее прохождение
<i>7 семестр</i>	



№ п/п	Виды и формы самостоятельной работы
1	Подготовка к лабораторным работам
2	Выполнение курсового проекта
3	Подготовка к промежуточной аттестации и ее прохождение

### Заочная форма обучения

№ п/п	Виды и формы самостоятельной работы
<i>6 семестр</i>	
1	Выполнение контрольно-курсовой работы
2	Подготовка к лабораторным работам
3	Самостоятельное изучение тем: Основные сведения о процессах и теории формирования отливки, необходимые для анализа СКМ ЛП
4	Подготовка к промежуточной аттестации и ее прохождение
<i>7 семестр</i>	
1	Подготовка к лабораторным работам
2	Самостоятельное изучение тем: СКМ ЛП ПОЛИГОН. Общая характеристика СКМ ЛП ПОЛИГОН. СКМ ЛП LVMFlow. Общая характеристика СКМ ЛП LVMFlow. СКМ ЛП PROCAST. Общие сведения.
3	Выполнение курсового проекта
4	Подготовка к промежуточной аттестации и ее прохождение

## 5 Система формирования оценки результатов обучения по дисциплине (модулю) в рамках текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося

### Очная форма обучения

Мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося			Максимальное количество баллов
<i>6 семестр</i>			
Текущий контроль успеваемости	Первый рубежный контроль	<b>Оцениваемая учебная деятельность обучающегося:</b>	
		Посещение лекционных занятий	5
		Выполнение лабораторной работы № 1	5
		Выполнение лабораторной работы № 2	5
		Выполнение лабораторной работы № 3	5
		Подготовка реферата	10
		Итого	30
	Второй рубежный контроль	<b>Оцениваемая учебная деятельность обучающегося:</b>	
		Посещение лекционных занятий	4
		Выполнение лабораторной работы № 4	4
		Выполнение лабораторной работы № 5	4
		Выполнение лабораторной работы № 6	4
		Выполнение лабораторной работы № 7	4
		Подготовка реферата	10
		Итого	30



Мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося		Максимальное количество баллов	
Промежуточная аттестация	Зачет	40 (100*)	
7 семестр			
Текущий контроль успеваемости	Первый рубежный контроль	Оцениваемая учебная деятельность обучающегося:	
		Посещение лекционных занятий	12
		Выполнение лабораторной работы № 8	2
		Выполнение лабораторной работы № 9	2
		Выполнение лабораторной работы № 10	2
		Выполнение лабораторной работы № 11	2
		Контрольные мероприятия	10
		Итого	30
	Второй рубежный контроль	Оцениваемая учебная деятельность обучающегося:	
		Посещение лекционных занятий	12
		Выполнение лабораторной работы № 12	2
		Выполнение лабораторной работы № 13	2
		Выполнение лабораторной работы № 14	2
		Выполнение лабораторной работы № 15	2
		Контрольные мероприятия	10
		Итого	30
Промежуточная аттестация	Экзамен	40 (100*)	
	Защита курсового проекта	100	

\* В случае отказа обучающегося от результатов текущего контроля успеваемости

### Заочная форма обучения

<b>Мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося</b>		<b>Максимальное количество баллов</b>
<i>6 семестр</i>		
Текущий контроль успеваемости	<b>Оцениваемая учебная деятельность обучающегося:</b>	
	Посещение лекционных занятий	10
	Выполнение лабораторной работы №1	5
	Выполнение лабораторной работы №2	5
	Выполнение лабораторной работы №3	5
	Выполнение контрольно-курсовой работы	35
	Итого	60
Промежуточная аттестация	Зачет	40 (100*)
<i>7 семестр</i>		
Текущий контроль успеваемости	<b>Оцениваемая учебная деятельность обучающегося:</b>	
	Посещение лекционных занятий	15
	Выполнение лабораторной работы №4	15
	Выполнение лабораторной работы №5	15
	Выполнение лабораторной работы №6	15
	Итого	60
Промежуточная аттестация	Экзамен	40 (100*)

<b>Мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося</b>		<b>Максимальное количество баллов</b>
аттестация	Защита курсового проекта	100

\* В случае отказа обучающегося от результатов текущего контроля успеваемости

### **Шкала соответствия оценок в стобалльной и академической системах оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)**

<b>Система оценивания результатов обучения</b>	<b>Оценки</b>			
Стобалльная система оценивания	0 – 39	40 – 60	61 – 80	81 – 100
Академическая система оценивания (экзамен, дифференцированный зачет, защита курсового проекта, защита курсовой работы)	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Академическая система оценивания (зачет)	Не зачтено	Зачтено		

### **6 Описание материально-технической базы (включая оборудование и технические средства обучения), необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю) требуется аудитория, оборудованная доской для написания мелом, оснащенная компьютером, оснащенная видеопроектором, настенным экраном. Для проведения практических занятий по дисциплине предусмотрена аудитория, оснащенная оборудованием:

- телевизор Philips с диагональю 117 см;
- DVD-проигрыватель.

Для проведения лабораторных занятий по дисциплине требуется аудитория, оснащенная видеопроектором, настенным экраном, макетами оборудования, макетами и образцами оснастки, инструмента, а так же специальное оборудование:

- электропечь СУОЛ 0,4.4/12-M2-Y4.2;
- муфельной печью ПМ-8;
- машина литья пластмасс под давлением;
- установкой для электрошлакового переплава.

### **7 Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

#### **7.1 Основная литература**

1. Зарубин В.С. Математическое моделирование в технике: Учебник для вузов / под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2001. – 496 С.
2. Введение в математическое моделирование: Учебное пособие / В.Н. Ашихмин и др. Под ред. П.В. Трусова. – М.: «Интернет Инжиниринг», 2000. – 336 с.
3. Галлагер Р. Метод конечных элементов: Основы: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 428 с.

## 7.2 Дополнительная литература

1. Дульнев Г.Н. и др. Применение ЭВМ для решения задач теплообмена: Учебное пособие для теплофизических и теплоэнергетических специальностей вузов. – М.: Высшая школа, 1990. – 207 с.
2. Математическое моделирование металлургических процессов: Методические указания / Ленингр. гос. техн. университет; Сост. В.М. Голод, В.В. Маслов, С.Е. Александров и др. – Л., 1991. – 64 с.
3. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования: Учебник для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 360 с.
4. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – М.: Наука. Физматлит, 1997. – 320 с.
5. Сегерлинд Д. Применение метода конечных элементов. – М.: Мир, 1979. – 392 с.

## 8 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. <http://www.elibrary.ru> – научная электронная библиотека в области науки, технологии.
2. [Электронный читальный зал "БИБЛИОТЕХ"](https://tsutula.bibliotech.ru): учебники авторов ТулГУ по всем дисциплинам. - Режим доступа: <https://tsutula.bibliotech.ru>, по паролю. - Загл. с экрана.
3. ЭБС [IPRBooks](http://www.iprbookshop.ru/) универсальная базовая коллекция изданий. - Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/>, по паролю. - Загл. с экрана.
4. ЭБС [Biblio-online.ru](http://biblio-online.ru) (ЭБС Издательства «Юрайт»), режим доступа: <http://biblio-online.ru>, по паролю. - Загл. с экрана.
5. НЭБ [eLibrary](http://elibrary.ru) – библиотека электронной периодики, режим доступа: [http://elibrary.ru/](http://elibrary.ru), по паролю. - Загл. с экрана.
6. НЭБ КиберЛенинка научная электронная библиотека открытого доступа, режим доступа <http://cyberleninka.ru/>, свободный. - Загл. с экрана.
7. Единое окно доступа к образовательным ресурсам: портал [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://window.edu.ru>, свободный. - Загл. с экрана.
8. ТехЛит.ру. ТЕХНИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА. - Режим доступа: [WWW.TEHLIT.RU](http://WWW.TEHLIT.RU), свободный. - Загл. с экрана.

## 9 Перечень информационных технологий, необходимых для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

### 9.1 Перечень необходимого ежегодно обновляемого лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства

1. Пакет офисных приложений «МойОфис».
2. Проигрыватель Windows Media.
3. Литаформ ПО Сайт: [www.litaform.ru](http://www.litaform.ru)

### 9.2 Перечень необходимых современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

Гост Эксперт. Единая база ГОСТов РФ. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://gostexpert.ru/>, свободный. - Загл. с экрана.