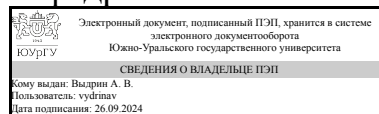


УТВЕРЖДАЮ:  
Заведующий выпускающей  
кафедрой



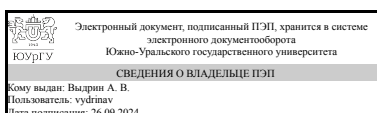
А. В. Выдрин

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины 1.Ф.М0.10.01 Цифровые двойники в прокатном производстве  
для направления 22.04.02 Metallurgy  
уровень Магистратура  
магистерская программа Искусственный интеллект в металлургии  
форма обучения очная  
кафедра-разработчик Процессы и машины обработки металлов давлением

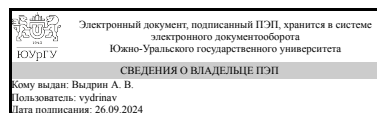
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 22.04.02 Metallurgy, утверждённым приказом Минобрнауки от 24.04.2018 № 308

Зав.кафедрой разработчика,  
д.техн.н., проф.



А. В. Выдрин

Разработчик программы,  
д.техн.н., проф., заведующий  
кафедрой



А. В. Выдрин

## 1. Цели и задачи дисциплины

В результате освоения дисциплины "Цифровые двойники в прокатном производстве" студент получает сведения о способах поддержки проектирования различных процессов и объектов, связанных с обработкой материалов, узнаёт об особенностях использования цифровых "копий" при проектировании технологий обработки материалов, приобретает навыки использования современных САД систем для физического моделирования объектов технологии с последующим использованием их при исследовании и моделировании современными инженерными средствами, осваивает особенности разработки конструкторской документации на металлургические технологии с применением современных САД и САЕ систем, изучает возможности контактного и бесконтактного перевода в цифровой и векторный виды реальных промышленных изделий, в том числе для дальнейшего ремонта и последующей обработки методами механической обработки и аддитивных технологий. Задачи освоения дисциплины: • освоение методов построения цифровых копий процессов различной сложности; • изучение способов создания цифровых и векторных копий изделий, рабочего инструмента и быстроизнашивающихся деталей без использования конструкторской документации; • совершенствование навыков работы с современными САД системами для разработки 3D моделей процессов и объектов .

## Краткое содержание дисциплины

В процессе изучения дисциплины рассматриваются вопросы цифровых двойников процессов в металлургии, способы компьютерного моделирования для поддержки технологий, возможности создания и ремонта промышленных изделий с копированием образца и принципы контактного и бесконтактного сканирования изделий для контроля качества производства и создания их цифровых и физических копий.

## 2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-3 Способен разрабатывать и обосновывать предложения по совершенствованию технологических процессов и оборудования прокатного производства	Знает: технологические процессы и оборудование прокатного производства Умеет: Обосновать предложения по совершенствованию технологических процессов и оборудования прокатного производства Имеет практический опыт: разрабатывать предложения по совершенствованию технологических процессов и оборудования прокатного производства, применяя цифровые технологии
ПК-4 Способен проводить анализ технологических процессов для выработки предложений по управлению качеством продукции	Знает: технологические процессы, принципы построения их цифровых двойников Умеет: проводить анализ технологических процессов для выработки предложений по управлению качеством продукции, используя цифровые технологии

	Имеет практический опыт: проводить анализ технологических процессов для выработки предложений по управлению качеством продукции, используя цифровые технологии; анализа технологических процессов для разработки требований к цифровому двойнику
--	--

### 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
Технологии и оборудование прокатного производств, Роль материаловедения в технологических процессах производства изделий, Моделирование металлургических процессов, Современные конструкционные и инструментальные материалы, Компьютерное моделирование прокатки, Литейно-прокатные агрегаты, Современные методы исследования материалов и процессов	Производственная практика (преддипломная) (4 семестр), Производственная практика (научно-исследовательская работа) (4 семестр)

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

Дисциплина	Требования
Современные методы исследования материалов и процессов	Знает: как проводить анализ технологических и физических процессов при непрерывной разливки стали с учетом современных методов исследования и применением цифровых технологий, современные методы исследования материалов и процессов Умеет: выбирать пути, меры и средства управления качеством продукции с учетом современных достижений науки и практики, проводить анализ технологических процессов для выработки предложений по управлению качеством продукции, используя современные методы исследования материалов и процессов Имеет практический опыт: разрабатывать предложения по совершенствованию технологических процессов с учетом современных достижений и цифровых технологий, проведения металловедческих исследований и анализа технологических процессов для выработки предложений по управлению качеством продукции
Современные конструкционные и инструментальные материалы	Знает: направления развития систем искусственного интеллекта, методы декомпозиции решаемых задач с использованием искусственного интеллекта, современные конструкционные и инструментальные

	<p>материалы Умеет: Осуществлять декомпозицию решаемых задач с использованием искусственного интеллекта, проводить анализ технологических процессов для выработки предложений по управлению качеством продукции Имеет практический опыт: применения инструментальных средств систем искусственного интеллекта в металлведении, анализа технологических процессов для выработки предложений по управлению качеством продукции</p>
Компьютерное моделирование прокатки	<p>Знает: технологические процессы и оборудование прокатного производства, технологические процессы их влияние на качество продукции; принципы моделирования металлургических процессов; Умеет: Обосновать предложения по совершенствованию технологических процессов и оборудования прокатного производства, проводить анализ технологических процессов для выработки предложений по управлению качеством продукции, используя компьютерное моделирование Имеет практический опыт: разрабатывать предложения по совершенствованию технологических процессов и оборудования прокатного производства, применяя компьютерное моделирование, проводить анализ технологических процессов для выработки предложений по управлению качеством продукции, используя компьютерное моделирование</p>
Литейно-прокатные агрегаты	<p>Знает: технологические процессы и оборудование литейно- прокатных агрегатов, как проводить анализ технологических и физических процессов при непрерывной разливки стали , как решать профессиональные задачи по разработке технологических процессов и подбору оборудования используя цифровые технологии Умеет: Обосновать предложения по совершенствованию технологических процессов и оборудования прокатного производства, выбирать пути, меры и средства управления качеством продукции с учетом современных достижений науки и практики, осуществлять сбор и изучение научно-технической информации передовых достижений по теме исследований и разработок Имеет практический опыт: разрабатывать предложения по совершенствованию технологических процессов и оборудования прокатного производства, применяя современные достижения, разрабатывать предложения по совершенствованию технологических процессов с учетом современных достижений и цифровых технологий, оценивать результаты теоретического обобщения научных и</p>

	практических данных, результатов экспериментов и наблюдений, производственного опыта
Технологии и оборудование прокатного производств	Знает: технологические процессы и оборудование прокатного производства, технологические процессы и оборудование прокатного производства, их влияние на качество продукции Умеет: Обосновать предложения по совершенствованию технологических процессов и оборудования прокатного производства, проводить анализ технологических процессов для выработки предложений по управлению качеством продукции Имеет практический опыт: разрабатывать предложения по совершенствованию технологических процессов и оборудования прокатного производства, применяя современные достижения, анализа технологических процессов для выработки предложений по управлению качеством продукции
Роль материаловедения в технологических процессах производства изделий	Знает: как проводить анализ технологических и физических процессов при непрерывной разливки стали с учетом современных методов исследования и применением цифровых технологий, металловедческие основы технологических процессов производства изделий Умеет: выбирать пути, меры и средства управления качеством продукции с учетом современных достижений науки и практики, проводить анализ технологических процессов для выработки предложений по управлению качеством продукции, используя современные методы исследования материалов Имеет практический опыт: разрабатывать предложения по совершенствованию технологических процессов с учетом современных достижений и цифровых технологий, проведения металловедческих исследований и анализа технологических процессов для выработки предложений по управлению качеством продукции
Моделирование металлургических процессов	Знает: как проводить анализ технологических и физических процессов при непрерывной разливки стали с учетом современных методов исследования и применением цифровых технологий, технологические процессы, принципы их компьютерного моделирования и влияние на качество продукции Умеет: выбирать пути, меры и средства управления качеством продукции с учетом современных достижений науки и практики, проводить анализ технологических процессов для выработки предложений по управлению качеством продукции, используя моделирование металлургических процессов Имеет практический опыт: разрабатывать предложения

	по совершенствованию технологических процессов с учетом современных достижений и цифровых технологий, проводить анализ технологических процессов для выработки предложений по управлению качеством продукции, используя моделирование металлургических процессов
--	--

#### 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 ч., 40,25 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		3	
Общая трудоёмкость дисциплины	144	144	
<i>Аудиторные занятия:</i>	32	32	
Лекции (Л)	0	0	
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	32	32	
Лабораторные работы (ЛР)	0	0	
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	103,75	103,75	
Написание реферата	20	20	
Создание цифровой модели процесса или изделия и подготовка конструкторской документации в соответствии с семестровым заданием	75,75	75.75	
Подготовка к зачёту	8	8	
Консультации и промежуточная аттестация	8,25	8,25	
Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	зачет	

#### 5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Разработка "цифровых копий" процессов обработки материалов	8	0	8	0
2	Современные методы и средства компьютерной поддержки в металлургии	8	0	8	0
3	Современные методы и средства компьютерной поддержки в машиностроении	8	0	8	0
4	Способы оцифровки реальных объектов	8	0	8	0

##### 5.1. Лекции

Не предусмотрены

##### 5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1,2	1	Особенности моделирования изделий в программном комплексе КОМПАС 3Д. Особенности интерфейса. Работа с двухмерными моделями	4
3,4	1	Принципы создания твердотельных деталей методами выдавливания и вращения эскиза, перемещением эскиза по заданной траектории	4
5,6	2	Сборка сложных изделий на основе компьютерных моделей деталей	4
7,8	2	Формирование твердотельной модели для изделий сложной формы	4
9,10	3	Подготовка конструкторской документации на изделия с учётом требований ЕСКД. Использование конструкторской документации при создании моделей	4
11,12	3	Компьютерное моделирование рабочего инструмента и быстроизнашиваемых деталей металлургических машин	4
13,14	4	Подготовка твердотельных моделей к изготовлению технологией моделирования методом наплавления	4
15,16	4	Подготовка твердотельных моделей к изготовлению технологией лазерной стереолитографии	4

### 5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

### 5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС			
Подвид СРС	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на ресурс	Семестр	Кол-во часов
Написание реферата	<a href="https://edu.susu.ru/">https://edu.susu.ru/</a>	3	20
Создание цифровой модели процесса или изделия и подготовка конструкторской документации в соответствии с семестровым заданием	<a href="https://edu.susu.ru/">https://edu.susu.ru/</a>	3	75,75
Подготовка к зачёту	<a href="https://edu.susu.ru/">https://edu.susu.ru/</a>	3	8

## 6. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации

Контроль качества освоения образовательной программы осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценивания результатов учебной деятельности обучающихся.

### 6.1. Контрольные мероприятия (КМ)

№ КМ	Се-местр	Вид контроля	Название контрольного мероприятия	Вес	Макс. балл	Порядок начисления баллов	Учитывается в ПА
1	3	Текущий контроль	Практическое задание 1. Разработка	0,3	30	На практическом занятии после соответствующей лекции выдаётся задание на разработку цифровой модели	зачет

			цифрового двойника процесса			простого типового процесса. Студент должен ответить на ряд вопросов. Задание оценивается максимум на 30 баллов. Штрафные баллы: технологический процесс описан с ошибками, не полностью или не корректно: -3, входные или выходные параметры приведены не полностью: -2, неверно отражены допущения для моделирования процесса: -3, предложения по моделированию процесса вызывают возражения: -3, предложения по автоматизации процесса не эффективны: -2.	
2	3	Текущий контроль	Практическое задание 2. Оцифровка реальных объектов	0,3	30	Необходимо выполнить сканирование и оцифровку представленной детали и внести изменения в её модель посредством редактирования. Изделие отсканировано: 10 баллов, изменения внесены: +10 баллов, есть неточности в результатах (-1 балл за элемент).	зачет
3	3	Текущий контроль	Семестровое задание. Создание цифрового двойника технологического процесса	0,4	40	В середине семестра выдаётся задание на разработку цифрового двойника технологического процесса. Студент должен в объёме пояснительной записки ответить на ряд вопросов согласно заданию. Задание оценивается максимум на 40 баллов. Штрафные баллы: технологический процесс описан с ошибками, не полностью или не корректно: -5, входные или выходные параметры приведены не полностью: -3, неверно отражены допущения для моделирования процесса: -3, предложения по моделированию процесса вызывают возражения: -5, предложения по автоматизации процесса не эффективны: -3.	зачет
4	3	Бонус	Написание реферата	-	20	Тема реферата выдаётся в конце семестра с учётом успеваемости студента по курсу. Реферат оценивается с учётом требований к реферату по формуле $20 \cdot \Pi$ , где $\Pi$ - доля выполненных требований к содержанию и оформлению реферата.	зачет
5	3	Промежуточная аттестация	Зачёт	-	40	Зачтено: Представленная модель отвечает заданию. Студент твердо знает учебный материал; отвечает без наводящих вопросов и не допускает при ответе серьезных ошибок; умеет применять полученные знания на практике; показывает систематический характер знаний по дисциплине и	зачет



					способность к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности. Не зачтено: Представленная модель не отвечает заданию. Студент не имеет или имеет отдельные представления об изученном материале; не может полно и правильно ответить на поставленные вопросы, при ответах допускает грубые ошибки.	
--	--	--	--	--	--	--

## 6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид промежуточной аттестации	Процедура проведения	Критерии оценивания
зачет	Зачтено: Представленная модель отвечает заданию. Студент твердо знает учебный материал; отвечает без наводящих вопросов и не допускает при ответе серьезных ошибок; умеет применять полученные знания на практике; показывает систематический характер знаний по дисциплине и способность к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности. Не зачтено: Представленная модель не отвечает заданию. Студент не имеет или имеет отдельные представления об изученном материале; не может полно и правильно ответить на поставленные вопросы, при ответах допускает грубые ошибки.	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения

## 6.3. Паспорт фонда оценочных средств

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ				
		1	2	3	4	5
ПК-3	Знает: технологические процессы и оборудование прокатного производства	+				++
ПК-3	Умеет: Обосновать предложения по совершенствованию технологических процессов и оборудования прокатного производства	+				++
ПК-3	Имеет практический опыт: разрабатывать предложения по совершенствованию технологических процессов и оборудования прокатного производства, применяя цифровые технологии	+				++
ПК-4	Знает: технологические процессы, принципы построения их цифровых двойников			++		+
ПК-4	Умеет: проводить анализ технологических процессов для выработки предложений по управлению качеством продукции, используя цифровые технологии			++		+
ПК-4	Имеет практический опыт: проводить анализ технологических процессов для выработки предложений по управлению качеством продукции, используя цифровые технологии; анализа технологических процессов для разработки требований к цифровому двойнику			++		+

Типовые контрольные задания по каждому мероприятию находятся в приложениях.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

## Печатная учебно-методическая документация

### а) основная литература:

1. Инженерная 3D-компьютерная графика [Текст] учебник и практикум для вузов по инж.-техн. специальностям А. Л. Хейфец и др.; под ред. А. Л. Хейфеца ; Юж.-Урал. гос. ун-т ; ЮУрГУ. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Юрайт, 2015. - 602 с. ил.

### б) дополнительная литература:

1. Моделирование и виртуальное прототипирование [Текст] учеб. пособие для вузов по специальности "Моделирование и исследование операций в орг.-техн. системах" И. И. Косенко и др. - М.: Альфа-М и др., 2012. - 176 с. ил.

2. Кудрявцев, Е. М. Компас-3D. Проектирование в машиностроении [Текст] Е. М. Кудрявцев. - М.: ДМК-Пресс, 2009. - 435 с. ил.

### в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:

1. САПР и графика ,ежемес. журн. ,ООО "КомпьютерПресс"

2. Сборка в машиностроении, приборостроении ,науч.-техн. и произв. журн. ,Изд-во "Машиностроение"

3. Computer Aided Design ,науч.-техн. журн. Guildford ,IPC science and technology press ,1989-

4. Машиностроитель ,ежемес. науч.-техн. журн. ,ООО "Науч.-технич. предприятие "Витраж-Центр"; М. ,1936-

5. Вестник Московского государственного технического университета. Серия: Машиностроение ,Науч.-теорет. и прикл. журн. широкого профиля ,Моск. гос. техн. ун-т им. Н. Э. Баумана; М. ,Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана ,1991-

6. Машиностроение и инженерное образование ,науч.-техн. журн.: 0+ ,Ин-т машиноведения им. А. А. Благоднарова Рос. акад. наук, Моск. гос. индустр. ун-т; М. ,2008-

7. Реферативный журнал. Машиностроительные материалы, конструкции и расчет деталей машин. Гидропривод. 48. ,отд. вып. ,Рос. акад. наук, Всерос. ин-т науч. и техн. информ. (ВИНИТИ); М. ,ВИНИТИ ,1964-

### г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

1. 1) Прототипирование и оцифровка деталей машин: методические указания к освоению дисциплины [Электронный документ] / О.О.Сиверин. – Челябинск, 2018. – 12 с. Режим доступа: электронная библиотека кафедры ПиМОМД.

*из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:*

## Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование ресурса в электронной форме	Библиографическое описание
1	Основная	Электронно-	Копылов, Ю. Р. Основы компьютерных цифровых

	литература	библиотечная система издательства Лань	технологий машиностроения : учебник / Ю. Р. Копылов. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 496 с. — ISBN 978-5-8114-3913-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/125736">https://e.lanbook.com/book/125736</a> (дата обращения: 24.07.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Компьютерная графика в САПР : учебное пособие / А. В. Приемышев, В. Н. Крутов, В. А. Третьяк, О. А. Коршакова. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 196 с. — ISBN 978-5-8114-5527-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/142368">https://e.lanbook.com/book/142368</a> (дата обращения: 29.07.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Варфел, Т. Прототипирование. Практическое руководство : руководство / Т. Варфел ; перевод с английского И. Лейко. — Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2013. — 240 с. — ISBN 978-5-91657-725-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/142368">https://e.lanbook.com/book/142368</a> (дата обращения: 29.07.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Современные технологии 3D-сканирования : учебное пособие / А. Н. Новиков, А. В. Фирсов, Г. И. Борзунов, А. А. Щенников. — Москва : РГУ им. А.Н. Косыгина, 2015. — 87 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/128675">https://e.lanbook.com/book/128675</a> (дата обращения: 29.07.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Грибовский, А. А. Геометрическое моделирование в аддитивном производстве : учебное пособие / А. А. Грибовский. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2015. — 49 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/91559">https://e.lanbook.com/book/91559</a> (дата обращения: 29.07.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Перечень используемого программного обеспечения:

Нет

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Нет

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
Лекции	338 (Л.к.)	Мультимедийный монитор, персональные компьютеры с установленным программным обеспечением
Практические занятия и семинары	338 (Л.к.)	Мультимедийный монитор, персональные компьютеры с установленным программным обеспечением
Лабораторные	120	Координатно-измерительная машина КИМ-1000

занятия	(Л.к.)	
Лабораторные занятия	340 (Л.к.)	Мультимедийный монитор, персональные компьютеры с установленным программным обеспечением, принтеры Flashforge Creator Pro, Flashforge Creator 3, Wanhao Duplicator 7 Plus, Wanhao Duplicator 8, 3D сканеры Shining 3D EinScan-SE, 3D Systems Sense Next Gen.
Зачет	338 (Л.к.)	Персональные компьютеры с установленным программным обеспечением
Контроль самостоятельной работы	338 (Л.к.)	Персональные компьютеры с установленным программным обеспечением