

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г. ШУХОВА»**
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

СОГЛАСОВАНО
Директор института
магистратуры
И.В.Космачева
« 22 » 05 2023 г.



УТВЕРЖДАЮ
Директор института технологического
оборудования и машиностроения
С.С.Латышев
« 22 » 05 2023 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

ДИСЦИПЛИНЫ

Цифровые двойники изделий

направление подготовки:

15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных
производств

Направленность образовательной программы:

Производственный инжиниринг и цифровые технологии в машиностроении

Квалификация

магистр

Форма обучения

Очная

Институт: Технологического оборудования и машиностроения

Выпускающая кафедра: Технологии машиностроения

Белгород – 2023

Рабочая программа составлена на основании требований:

▪ Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», утвержденное приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 17 августа 2020 г. № 1046.

▪ плана учебного процесса БГТУ им. В.Г. Шухова, введенного в действие в 2023 году.

Составитель: д.т.н., доцент  (Т.А.Дююн)
ассист.  (К.В.Чуев)

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

«15» 05 2023 г. прот. № 11

Заведующий кафедрой: д-р. техн. наук, доцент  (Т.А. Дююн)

Рабочая программа одобрена методической комиссией института

«22» 05 2023 г. прот. № 6

Председатель  (Горшков П.С.)

1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Категория (группа) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине
Профессиональные компетенции	ПК – 4 Способен осуществлять разработку проектов изделий и технологий с использованием средств автоматизированного проектирования	ПК-4.3: Выполняет разработку и сопровождение электронных моделей деталей и сборочных единиц проектной и рабочей электронной технологической документации на изделия с использованием CAD/CAE-систем под управлением PDM систем	Знать: Основные принципы работы CAD/CAE/PDM систем Уметь: Выполнять разработку цифровых двойников изделий и рабочей документации CAD/CAE-систем под управлением PDM систем Владеть: Навыками работы в CAD/CAE-системах по созданию цифровых двойников изделий и сопровождению рабочей документации под управлением PDM систем

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

1. Компетенция ОПК-1. Способен формулировать цели и задачи исследования в области конструкторско-технологической подготовки машиностроительных производств, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки исследований

Данная компетенция формируется следующими дисциплинами.

Стадия	Наименования дисциплины ¹
1	Компьютерный инжиниринг и цифровые технологии в машиностроении
2	Цифровая трансформация машиностроительных производств
3	Цифровые двойники изделий

¹ В таблице должны быть представлены все дисциплины и(или) практики, которые формируют компетенцию в соответствии с компетентностным планом. Дисциплины и(или) практики указывать в порядке их изучения по учебному плану.

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зач. единиц, 180 часов.

Дисциплина реализуется в рамках практической подготовки²:

Форма промежуточной аттестации экзамен

(экзамен, дифференцированный зачет, зачет)

Вид учебной работы ³	Всего часов	Семестр № 3
Общая трудоемкость дисциплины, час	188	188
Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:	57	57
лекции	36	36
лабораторные	–	–
практические	18	18
консультации	3	3
Самостоятельная работа студентов, включая индивидуальные и групповые консультации, в том числе:	123	123
Курсовой проект	–	–
Курсовая работа	–	–
Расчетно-графическое задание	-	-
Индивидуальное домашнее задание	–	–
Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям (лекции, практические занятия, лабораторные занятия)	67	67
Экзамен	36	36

²

³ в соответствии с ЛНА предусматривать

- не менее 0,5 академического часа самостоятельной работы на 1 час лекций,
- не менее 1 академического часа самостоятельной работы на 1 час лабораторных и практических занятий,
- 36 академических часов самостоятельной работы на 1 экзамен
- 54 академических часов самостоятельной работы на 1 курсовой проект, включая подготовку проекта, индивидуальные консультации и защиту
- 36 академических часов самостоятельной работы на 1 курсовую работу, включая подготовку работы, индивидуальные консультации и защиту
- 18 академических часов самостоятельной работы на 1 расчетно-графическую работу, включая подготовку работы, индивидуальные консультации и защиту
- 9 академических часов самостоятельной работы на 1 индивидуальное домашнее задание, включая подготовку задания, индивидуальные консультации и защиту
- не менее 2 академических часов самостоятельной работы на консультации в период теоретического обучения и промежуточной аттестации

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1 Наименование тем, их содержание и объем Курс 2 Семестр 3

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям ⁴
1. Определение понятия «цифровой двойник»					
	Определение цифрового двойника. Концепция цифрового двойника изделия. Различия цифрового двойника, тени, следа и модели. Ключевые особенности в создании цифровых двойников.	4			5
2. Модели: математические и компьютерные					
	Математические и компьютерные модели. Адекватность моделей. Верификация и валидация моделей. Мультидисциплинарные модели.	4			5
3. Жизненный цикл изделий					
	Системы управления жизненным циклом изделия. PDM-система – система управления данными об изделии. CAD-система – проектирование изделий. CAE-система – инженерные расчеты. CAPP-система – разработка техпроцессов. CAM-система – разработка управляющих программ для станков с ЧПУ.	4			5
4. PDM-система, как средство автоматизации и администрирования конструкторско-технологической подготовки					
	Введение в концепцию PDM. Полный и тонкий клиент PDM системы. Архитектура. Работа с данными. Создание объекта, ревизии объекта, набора данных, мастер-формы, папки. Быстрый, локальный, расширенный поиск.	4	4		10
5. Система для проектирования изделий, система для инженерных расчетов. Взаимосвязь и основы работы.					
	Основы проектирования изделий. Расчёт изделия на прочность методом конечных элементов. Топологическая оптимизация. Изменение документации на основе инженерных решений.	4	4		10
6. Система для разработки технологических процессов. Системы для разработки управляющих программ для станков с ЧПУ					
	Особенности создания конструкторско-технологической документации в системе CAPP. Вывод	4	4		10

⁴ Указать объем часов самостоятельной работы для подготовки к лекционным, практическим, лабораторным занятиям

	и хранение управляющей программы для станков с ЧПУ.				
7.	Работа с предварительно сконфигурированным решением PDM системы				
	Настройка системы под задачи конкретного промышленного предприятия. Особенности работы и структуры.	4			6
8.	Цифровой двойник изделия				
	Разработка цифрового двойника изделия узла механического оборудования с использованием PLM систем. Автоматическое составление спецификации на готовое изделие. Изготовление комплекта проектно-конструкторской документации. Согласование выполненных работ с помощью рабочих процессов – электронно-цифровой модели, пояснительной записки и чертежей. Работа с вариантными изделиями.	8	6		16
	ВСЕГО	36	18	–	67

4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема практического (семинарского) занятия	К-во часов	Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям ⁵
семестр № 3				
1	PDM-система, как средство автоматизации и администрирования конструкторско-технологической подготовки	Создание и сопровождение электронной модели изделия, проектной и рабочей документации под управлением PDM системы.	4	6
2	Система для проектирования изделий, система для инженерных расчетов. Взаимосвязь и основы работы.	Разработка электронной модели и рабочей документации в CAD системе. Основы работы в трудовом коллективе.	4	6
3	Система для проектирования изделий, система для инженерных расчетов. Взаимосвязь и основы работы.	Решение инженерных задач в CAE системе, направленных на последующее исправление электронной модели изделия.	4	6
4	Цифровой двойник изделия	Проектирование механического узла технологической машины, разработка и сопровождение цифрового двойника изделия, проектной и рабочей документации под управлением PDM системы	6	9
ИТОГО:			18	27

4.3. Содержание лабораторных занятий

Не предусмотрено учебным планом

⁵ Количество часов самостоятельной работы для подготовки к практическим занятиям

4.4. Содержание курсового проекта/работы⁶

Не предусмотрено учебным планом

4.5. Содержание расчетно-графического задания, индивидуальных домашних заданий⁷

Не предусмотрено учебным планом

5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

5.1. Реализация компетенций

. Компетенция ПК – 4 Способен осуществлять разработку проектов изделий и технологий с использованием средств автоматизированного проектирования

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания
ПК-4.3: Выполняет разработку и сопровождение электронных моделей деталей и сборочных единиц проектной и рабочей электронной технологической документации на изделия с использованием CAD-систем под управлением PDM систем	Экзамен, защита практической работы, собеседование

5.2. Типовые контрольные задания для промежуточной аттестации

5.2.1. Перечень контрольных вопросов (типовых заданий) для экзамена

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание вопросов (типовых заданий)
1	Определение понятия «цифровой двойник»	Определение цифрового двойника. Концепция цифрового двойника изделия. Различия цифрового двойника, тени, следа и модели. Ключевые особенности в создании цифровых двойников.
2	Модели: математические и компьютерные	Математические и компьютерные модели. Адекватность моделей. Верификация и валидация моделей. Мультидисциплинарные модели.
3	Жизненный цикл изделий	Системы управления жизненным циклом изделия. PDM-система – система управления данными об изделии. CAD-система – проектирование изделий. CAE-система – инженерные расчеты. CAPP-система – разработка техпроцессов. CAM-система – разработка управляющих программ для станков с ЧПУ.
4	PDM-система, как средство автоматизации и администрирования конструкторско-	Введение в концепцию PDM. Полный и тонкий клиент PDM системы. Архитектура. Работа с данными. Создание объекта, ревизии объекта, набора данных, мастер-формы,

⁶ Если выполнение курсового проекта/курсовой работы нет в учебном плане, то в данном разделе необходимо указать «Не предусмотрено учебным планом»

⁷ Если выполнение расчетно-графического задания/индивидуального домашнего задания нет в учебном плане, то в данном разделе необходимо указать «Не предусмотрено учебным планом»

	технологической подготовки	папки. Быстрый, локальный, расширенный поиск.
5	Система для проектирования изделий, система для инженерных расчетов. Взаимосвязь и основы работы.	Основы проектирования изделий. Расчёт изделия на прочность методом конечных элементов. Топологическая оптимизация. Изменение документации на основе инженерных решений.
6	Система для разработки технологических процессов. Системы для разработки управляющих программ для станков с ЧПУ	Особенности создания конструкторско-технологической документации в системе САРР. Вывод и хранение управляющей программы для станков с ЧПУ.
7	Работа с предварительно сконфигурированным решением PDM системы	Настройка системы под задачи конкретного промышленного предприятия. Особенности работы и структуры.
8	Цифровой двойник изделия	Разработка цифрового двойника изделия узла механического оборудования с использованием PLM систем. Автоматическое составление спецификации на готовое изделие. Изготовление комплекта проектно-конструкторской документации. Согласование выполненных работ с помощью рабочих процессов – электронно-цифровой модели, пояснительной записки и чертежей. Работа с вариантными изделиями.

5.2.2. Перечень контрольных материалов для защиты курсового проекта/ курсовой работы

Не предусмотрено учебным планом

5.3. Типовые контрольные задания (материалы) для текущего контроля в семестре

Текущий контроль осуществляется в течение всего времени изучения дисциплины в защите практических работ.

1. Концепция цифровых двойников
2. Основные подходы к определению понятия «цифровой двойник»
3. Концепция цифровых двойников изделий
4. Математические и компьютерные модели
5. Мультидисциплинарные модели. Адекватность моделей
6. Верификация моделей.
7. Валидация моделей
8. Верификация и валидация программного обеспечения компьютерного моделирования
9. Многоуровневая система требований
10. Цифровые (виртуальные) испытания
11. Цифровые (виртуальные) испытательные стенды и полигоны
12. Программно-технологическая платформа цифровых двойников
13. Цифровая модель изделия
14. Двусторонние информационные связи
15. Цифровые двойники для вновь разрабатываемых и эксплуатируемых изделий
16. Перспективы развития цифровых двойников в высокотехнологичной промышленности

5.4. Описание критериев оценивания компетенций и шкалы оценивания

При промежуточной аттестации в форме экзамена, дифференцированного зачета, дифференцированного зачета при защите курсового проекта/работы используется следующая шкала оценивания: 2 – неудовлетворительно, 3 – удовлетворительно, 4 – хорошо, 5 – отлично .

Критериями оценивания достижений показателей являются:

Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине	Критерий оценивания
Знания	Знание терминов, определений, понятий
	Знание основных закономерностей, соотношений, принципов
	Объем освоенного материала
	Полнота ответов на вопросы
	Четкость изложения и интерпретации знаний
Умения	Выполнять разработку цифровых двойников изделий и рабочей документации CAD/CAE-систем под управлением PDM систем
Навыки	Навыками работы в CAD/CAE-системах по созданию цифровых двойников изделий и сопровождению рабочей документации под управлением PDM систем

Оценка преподавателем выставляется интегрально с учётом всех показателей и критериев оценивания.

Оценка сформированности компетенций по показателю «Знания»

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Знание терминов, определений, понятий	Не знает терминов и определений	Термины не сформированы, но содержат отдельные знания основных определений	Термины сформированы, но содержат отдельные пробелы знания основных определений	Знает термины и определения
Знание основных закономерностей, соотношений, принципов	Не знает основные закономерности и соотношения, принципы построения знаний	Частично освоены основные закономерности и соотношения, принципы построения знания	Знает основные закономерности, соотношения, принципы построения знаний, но содержат отдельные пробелы основных закономерностей	Знает основные закономерности, соотношения, принципы построения знаний, их интерпретирует и использует
Объем освоенного материала	Не знает значительной части материала дисциплины	Не знает значительной части материала дисциплины	Знает значительную часть материал	Знает материал дисциплины в достаточном объеме
Полнота ответов на вопросы	Не дает ответы на большинство вопросов	Частично отвечает на вопросы	Дает ответы на вопросы, но имеются незначительные отклонения	Дает ответы на вопросы
Четкость изложения и интерпретации знаний	Излагает знания без логической последовательности	Излагает знания без значительных нарушений в логической последовательности	Излагает знания без нарушений в логической последовательности, но имеются незначительные отклонения от интерпретаций знаний	Излагает знания без нарушений в логической последовательности

Оценка сформированности компетенций по показателю «Умения»

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Выполнять разработку цифровых двойников изделий и рабочей документации CAD/CAE-систем под управлением PDM систем	Не может осуществлять разработку цифровых двойников изделий и рабочей документации	Частично способен осуществлять разработку ЦДИ и рабочей документации CAD/CAE-систем с незначительными ошибками	Способен осуществлять разработку ЦДИ и рабочей документации CAD/CAE-систем не в полном объеме	В полном объеме освоена разработка ЦДИ и рабочей документации CAD/CAE систем под управлением PDM систем

Оценка сформированности компетенций по показателю «Навыки»

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Навыками работы в CAD/CAE-системах по созданию цифровых двойников изделий и сопровождению рабочей документации под управлением PDM систем	Не владеет навыками, приемами и технологиями и работы в CAD/CAE системах	Владеет навыками, приемами и технологиями построения по созданию цифровых двойников изделий со значительными отклонениями	Владеет навыками, приемами и технологиями построения по созданию цифровых двойников изделий с незначительными ошибками.	Владеет навыками, приемами и технологиями построения в CAD/CAE-системах по созданию цифровых двойников изделий и сопровождению рабочей документации под управлением PDM систем

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

6.1. Материально-техническое обеспечение

№	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
1	Специализированная лаборатория САПР для курсового и дипломного проектирования УК№4, №313, 308; УК№7 17	Специализированная мебель, компьютерная техника, подключенная к сети «Интернет» и имеющая доступ в электронную информационно-образовательную среду.
2	Читальный зал библиотеки для самостоятельной работы	Специализированная мебель, компьютерная техника, подключенная к сети «Интернет» и имеющая доступ в электронную информационно-образовательную среду.

6.2. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

№	Перечень лицензионного программного обеспечения.	Реквизиты подтверждающего документа
1	Windows 10 Pro	Подписка Microsoft Imagine Premiumid: 6f22ecb4-6882-420b-a39b-afba0ace820c. Срок действия до 01.05.2019.
2	Microsoft Office 2016	Соглашение №V6328633. Срок действия до 31.10.2020

3	КОМПАС-3D v21	
4	АРМ FEM v21	
5	ЛОЦМАН:PLM 22.1	
6	ВЕРТИКАЛЬ 22.1	Лицензионное соглашение МЦ-19-00059 от 11.02.2019
7	ПОЛИНОМ: MDM 22.1	

6.3. Перечень учебных изданий и учебно-методических материалов

1. Савельев, М. Ю. Введение в цифровое производство : учебное пособие / М. Ю. Савельев. — Омск : Омский государственный технический университет, 2022. — 88 с. — ISBN 978-5-8149-3439-0. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/131194.html> (дата обращения: 18.07.2023). — Режим доступа: для авторизир. пользователей
2. Архитектура предприятия и цифровая трансформация : учебное пособие / И. В. Ильин, А. А. Лепехин, А. Д. Борреманс [и др.]. — Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2022. — 74 с. — ISBN 978-5-7422-7661-6. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/128639.html> (дата обращения: 07.03.2023).
3. Инновационно-технологическая трансформация промышленности в регионах России как инструмент достижения стратегических целей на пути становления цифровой экономики : коллективная монография / М. А. Измайлова, О. А. Москаленко, А. А. Костин [и др.] ; под редакцией М. Я. Веселовского, М. А. Измайловой. — Москва : Научный консультант, 2019. — 364 с. — ISBN 978-5-907084-80-3. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/104991.html> (дата обращения: 18.07.2023).

Перечень интернет ресурсов

1. <http://elibrary.rsl.ru> – электронная библиотека РГБ;
2. <http://lib.walla/> – публичная электронная библиотека;
3. <http://techlibrary.ru> – техническая библиотека;
4. <http://window.edu.ru/window/library> – электронная библиотека научно-технической литературы;
5. <http://www.techlit.ru> – библиотека нормативно-технической литературы;
6. <http://e.lanbook.com> – электронная библиотечная система издательства «Лань»;
7. <http://www.unilib.neva.ru/rus/lib/resources/elib> – библиотека СПбГТУ.