МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИЭиАС
_____ В.Р. Храмшин
03.02.2026 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГ И ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Направление подготовки (специальность)
21.05.04 Горное дело

Направленность (профиль/специализация) программы
Маркшейдерское дело

Уровень высшего образования - специалитет

Форма обучения
очная

Институт/ факультет	Институт энергетики и автоматизированных систем
Кафедра	Автоматизированного электропривода и мехатроники
Курс	5
Семестр	9

Магнитогорск
2026 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - специалитет по специальности 21.05.04 Горное дело (приказ Минобрнауки России от 12.08.2020 г. № 987)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Автоматизированного электропривода и мехатроники
29.01.2026, протокол № 5

Зав. кафедрой _____ А.А. Николаев

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИЭиАС
03.02.2026 г. протокол № 5

Председатель _____ В.Р. Храмшин

Согласовано:
Зав. кафедрой Геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых

_____ И.А. Гришин

Рабочая программа составлена:
доцент кафедры АЭПиМ, к.т.н. _____ С.С. Рыжевол

Рецензент:
профессор кафедры ЭиМЭ, д.т.н. _____ М.Ю. Петушков

Лист актуализации рабочей программы

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2027 - 2028 учебном году на заседании кафедры Автоматизированного электропривода и

Протокол от __ _____ 20__ г. № __
Зав. кафедрой _____ А.А. Николаев

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2028 - 2029 учебном году на заседании кафедры Автоматизированного электропривода и

Протокол от __ _____ 20__ г. № __
Зав. кафедрой _____ А.А. Николаев

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2029 - 2030 учебном году на заседании кафедры Автоматизированного электропривода и

Протокол от __ _____ 20__ г. № __
Зав. кафедрой _____ А.А. Николаев

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2030 - 2031 учебном году на заседании кафедры Автоматизированного электропривода и

Протокол от __ _____ 20__ г. № __
Зав. кафедрой _____ А.А. Николаев

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2031 - 2032 учебном году на заседании кафедры Автоматизированного электропривода и

Протокол от __ _____ 20__ г. № __
Зав. кафедрой _____ А.А. Николаев

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2032 - 2033 учебном году на заседании кафедры Автоматизированного электропривода и

Протокол от __ _____ 20__ г. № __
Зав. кафедрой _____ А.А. Николаев

1 Цели освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины является формирование у обучающихся системы теоретических знаний и практических компетенций в области восстановления конструкторской и эксплуатационной документации, а также создания и применения цифровых двойников электромеханических систем горного оборудования для решения задач диагностики, прогнозирования технического состояния и оптимизации жизненного цикла горных машин и агрегатов.

2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Реверс-инжиниринг и цифровые двойники горного оборудования входит в обязательную часть учебного плана образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Введение в информационные технологии

Техническое черчение

Цифровое моделирование

Основы электротехники и электроники

Автоматизация и электрификация горного производства

Математическая обработка результатов измерений

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Нейросетевые методы распознавания и прогноза

3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины (модуля) «Реверс-инжиниринг и цифровые двойники горного оборудования» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ОПК-8 Способен работать с программным обеспечением общего, специального назначения и моделирования горных и геологических объектов	
ОПК-8.1	Выбирает программное обеспечения для моделирования горных и геологических объектов
ОПК-8.2	Осуществляет моделирование, расчет параметров горных и геологических объектов, проводит анализ полученных результатов с использованием программного обеспечения общего и специального назначения

4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единиц 72 акад. часов, в том числе:

– контактная работа – 37 акад. часов:

– аудиторная – 36 акад. часов;

– внеаудиторная – 1 акад. часов;

– самостоятельная работа – 35 акад. часов;

– в форме практической подготовки – 0 акад. час;

Форма аттестации - зачет

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. Лекции								
1.1 Введение в реверс-инжиниринг горного оборудования. Определения и терминология цифровых двойников	9	2			4	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).	Текущий контроль успеваемости	ОПК-8.1
1.2 Цифровые двойники, цифровые тени и цифровые модели в жизненном цикле горной техники		2			4	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиям	Текущий контроль успеваемости	ОПК-8.1

						и).		
1.3 Взаимосвязь цифровых двойников, теней и моделей. Архитектура гибридных систем	9	2			4	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).	Текущий контроль успеваемости	ОПК-8.1
1.4 Методология создания промышленных цифровых двойников для горного оборудования.		2			4	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).	Текущий контроль успеваемости	ОПК-8.1
1.5 Платформы разработки цифровых двойников: Simulink Real-Time, HIL-моделирование и инструменты реверс-инжиниринга для горного оборудования		2			4	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).	Текущий контроль успеваемости	ОПК-8.1
1.6 Методы реверс-инжиниринга: 3D-сканирование, лазерная съемка, построение CAD-моделей узлов горных машин		2			7	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы Поиск дополнительной информации по	Текущий контроль успеваемости	ОПК-8.1

						заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).		
1.7 Реверс-инжиниринг электрических схем и систем управления электроприводов горного оборудования	9	2			4	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).	Текущий контроль успеваемости	ОПК-8.1
1.8 Цифровые тени в системах мониторинга технического состояния электромеханического оборудования карьеров и рудников		2			1	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).	Текущий контроль успеваемости	ОПК-8.1, ОПК-8.2
1.9 Место реверс-инжиниринга и цифровых двойников в системе технической эксплуатации горного оборудования		2			3	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиям	Текущий контроль успеваемости	ОПК-8.1, ОПК-8.2

						и).		
Итого по разделу		18			35			
2. Практические занятия								
2.1 Анализ и восстановление принципиальных электрических схем систем управления горного оборудования	9			6			Текущий контроль успеваемости	ОПК-8.1, ОПК-8.2
2.2 Построение CAD-модели узла				6			Текущий контроль успеваемости	ОПК-8.1, ОПК-8.2
2.3 Создание имитационной модели электропривода в MATLAB/Simulink на основе восстановленных данных				6			Текущий контроль успеваемости	ОПК-8.1, ОПК-8.2
Итого по разделу				18				
3. Зачет								
3.1 Итоговая аттестация	9					Подготовка к итоговой аттестации		ОПК-8.1, ОПК-8.2
Итого по разделу								
Итого за семестр		18		18	35		зачёт	
Итого по дисциплине		18		18	35		зачет	

5 Образовательные технологии

Для реализации предусмотренных видов учебной работы в качестве образовательных технологий в преподавании дисциплины «Реверс-инжиниринг и цифровые двойники горного оборудования» используются традиционная и модульно – компетентностная технологии. Передача необходимых теоретических знаний и формирование основных представлений по курсу «Реверс-инжиниринг и цифровые двойники горного оборудования» происходит с использованием мультимедийного оборудования. Лекции проходят в традиционной форме, в форме лекций-консультаций и проблемных лекций. Теоретический материал на проблемных лекциях является результатом усвоения полученной информации посредством постановки проблемного вопроса и поиска путей его решения. На лекциях – консультациях изложение нового материала сопровождается постановкой вопросов и дискуссией в поисках ответов на эти вопросы.

При проведении практических занятий используются работа в команде и методы IT.

Самостоятельная работа стимулирует студентов в процессе подготовки домашних заданий, при решении задач на лабораторных занятиях, при подготовке к контрольным работам (тестам) и итоговой аттестации.

6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Представлено в приложении 1.

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Представлены в приложении 2.

8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) Основная литература:

Тарасов В.Б. Цифровые двойники: основы и практическое применение в промышленности. — М.: ИНФРА-М, 2021. — 312 с.

Швецов А.Н., Соколов А.А. Реверс-инжиниринг электромеханических систем горного оборудования. — Екатеринбург: УрФУ, 2020. — 198 с.

Федоров О.В. Моделирование электроприводов горных машин в среде MATLAB/Simulink. — СПб.: Лань, 2019. — 256 с.

Ключев В.И. Теория электропривода и цифровые двойники. — М.: Энергоатомиздат, 2022. — 284 с.

Злобин М.В., Петров С.А. Практический реверс-инжиниринг: от 3D-сканирования до CAD-модели для горной техники. — Новосибирск: НГТУ, 2023. — 172 с.

б) Дополнительная литература:

Кузнецов П.Н., Малышев В.И. Hardware-in-the-Loop моделирование для горной электромеханики // Горное оборудование и электромеханика. — 2023. — №4. — С. 24-31.

Рабинович Л.А. Реверс-инжиниринг электрических схем без документации // Автоматизация в промышленности. — 2024. — №2. — С. 42-49.

Справочник по цифровым платформам промышленного интернета вещей (IIoT) / под ред. Д.А. Белова. — М.: ДМК Пресс, 2022. — 340 с.

в) Методические указания:

1. Линьков, С. А. Моделирование в электроприводе. Учебно-методические указания к л/р 1-6. URL: https:// https://newlms.magtu.ru/course/view.php?id=71863.

2. Андреев С. М. Принципы построения и организации комплексов технических средств в системах автоматического управления. Курс лекций : учебное пособие / С. М. Андреев. - Магнитогорск : МГТУ, 2013. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - URL: https://host.megaprolib.net/MP0109/Download/MObject/20336 . - Текст : электронный.

3. Остроух, А. В. Системы искусственного интеллекта : монография / А. В. Остроух, Н. Е. Суркова. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 228 с. — ISBN 978-5-507-47478-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/379988 (дата обращения: 15.03.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Моделирование электротехнических устройств на базе MATLAB, Simulink и Simscape Electrical: практикум : учебное пособие / В. А. Волчок, А. А. Бойко, К. В. Автух [и др.]. — Гродно : ГрГУ им. Янки Купалы, 2023. — 39 с. — ISBN 978-985-582-575-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/399266 (дата обращения: 01.05.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Программное обеспечение

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
MathWorks MathLab v.2014 Classroom License	К-89-14 от 08.12.2014	бессрочно
Autodesk Inventor Professional 2011	К-526-11 от 22.11.2011	бессрочно
Аскон КОМПАС в.23	ЧЦ-23-00383 от 17.08.2023	бессрочно

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Название курса	Ссылка
Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова	https://host.megaprolib.net/MP0109/Web

9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Лекционная аудитория (023, 227) Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации

Компьютерный класс (023, 227а) Персональные компьютеры с пакетом MS Office, Matlab+Simulink, Autodesk Inventor Professional, Аскон КОМПАС V.23

Помещение для самостоятельной работы обучающихся (227а) Персональные компьютеры с пакетом MS Office, Matlab+Simulink, Autodesk Inventor Professional, Аскон КОМПАС V.23 выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета

Учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (023, 123, 227) Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации

Приложение 1. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Внеаудиторная самостоятельная работа студентов осуществляется в виде чтения с проработкой материала с консультациями преподавателя и оформления выполненных работ, с проработкой основных вопросов.

Вопросы для самостоятельной проработки:

1. Дайте определения понятиям: реверс-инжиниринг, цифровой двойник (ЦД), цифровая тень (ЦТ), цифровая модель (ЦМ), HIL-моделирование, CAD/CAE/CAM-системы.
2. Каковы основные требования ГОСТ Р 57700.25-2020 к цифровым двойникам?
3. Чем цифровой двойник отличается от цифровой тени и цифровой модели?
4. Какие уровни зрелости цифровых двойников выделяются в нормативной документации?
5. Какие разделы ГОСТ Р 57700.25-2020 наиболее важны для горного оборудования?
6. Что такое «проблема синхронизации» применительно к цифровому двойнику?
7. Какие задержки (вычислительные, сетевые, сенсорные) существуют в системах ЦД?
8. Как влияет несинхронность данных на точность прогнозирования технического состояния?
9. Какие методы и алгоритмы используются для компенсации задержек в обратной связи?
10. Какие платформы для создания промышленных ЦД наиболее распространены (отечественные и зарубежные)?
11. Какие критерии следует использовать для выбора платформы под задачи горного оборудования?
12. В чем суть контактного, лазерного триангуляционного метода и метода структурированного света?
13. Какой метод 3D-сканирования обеспечивает наибольшую точность для зубчатых колес горных экскаваторов?
14. Какой метод 3D-сканирования наиболее применим в полевых условиях (карьер, рудник) и почему?
15. Как влияет наличие абразивного износа и сколов на точность каждого метода 3D-сканирования?
16. Какие возможности для работы с облаками точек предоставляют КОМПАС-3D, SolidWorks, Fusion 360, NX?
17. Как износ влияет на точность восстановления номинальной геометрии?
18. Какие методы позволяют отличить износ от производственного допуска или конструктивной особенности?
19. Какие нормы законодательства РФ регулируют реверс-инжиниринг (ГК РФ, закон об авторском праве, патентное право)?
20. В каких случаях реверс-инжиниринг возможен без разрешения правообладателя?
21. В чем отличие систем мониторинга от цифровых теней и ЦД?
22. Как данные из систем мониторинга могут быть использованы для создания и верификации ЦД?
23. В чем суть традиционного подхода ТОиР (планово-предупредительный ремонт по наработке)?
24. В чем суть упреждающего подхода на основе ЦД и реверс-инжиниринга

Приложение 2. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
ОПК-8: Способен работать с программным обеспечением общего, специального назначения и моделирования горных и геологических объектов		
ОПК-8.1	Выбирает программное обеспечения для моделирования горных и геологических объектов	1. Дайте определения понятиям: реверс-инжиниринг, цифровой двойник (ЦД), цифровая тень (ЦТ), цифровая модель (ЦМ), HIL-моделирование, CAD/CAE/CAM-системы. 2. Каковы основные требования ГОСТ Р 57700.25-2020 к цифровым двойникам? 3. Чем цифровой двойник отличается от цифровой тени и цифровой модели? 4. Какие уровни зрелости цифровых двойников выделяются в нормативной документации? 5. Какие разделы ГОСТ Р 57700.25-2020 наиболее важны для горного оборудования? 6. Что такое «проблема синхронизации» применительно к цифровому двойнику? 7. Какие задержки (вычислительные, сетевые, сенсорные) существуют в системах ЦД? 8. Как влияет несинхронность данных на точность прогнозирования технического состояния? 9. Какие методы и алгоритмы используются для компенсации задержек в обратной связи? 10. Какие платформы для создания промышленных ЦД наиболее распространены? 11. Какие критерии следует использовать для выбора платформы под задачи горного оборудования?
ОПК-8.2	Осуществляет моделирование, расчет параметров горных и геологических объектов, проводит анализ полученных результатов с использованием программного обеспечения общего и специального назначения	12. В чем суть контактного, лазерного триангуляционного метода и метода структурированного света? 13. Какой метод 3D-сканирования обеспечивает наибольшую точность для зубчатых колес горных экскаваторов? 14. Какой метод 3D-сканирования наиболее применим в полевых условиях (карьер, рудник) и почему? 15. Как влияет наличие абразивного износа и сколов на точность каждого метода 3D-сканирования? 16. Какие возможности для работы с облаками точек предоставляют КОМПАС-3D, SolidWorks, Fusion 360, NX? 17. Как износ влияет на точность восстановления номинальной геометрии? 18. Какие методы позволяют отличить износ от производственного допуска или конструктивной особенности? 19. Какие нормы законодательства РФ регулируют реверс-инжиниринг (ГК РФ, закон об авторском праве, патентное право)? 20. В каких случаях реверс-инжиниринг возможен без разрешения правообладателя? 21. В чем отличие систем мониторинга от цифровых теней и ЦД? 22. Как данные из систем мониторинга могут быть использованы для создания и верификации ЦД? 23. В чем суть традиционного подхода ТОиР (планово-предупредительный ремонт по наработке)? 24. В чем суть упреждающего подхода на основе ЦД и реверс-инжиниринга?

б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:

Изучение учебной дисциплины «Реверс-инжиниринг и цифровые двойники горного оборудования» завершается зачетом.

Зачет является формой итогового контроля знаний и умений, полученных на лекциях, семинарских, практических занятиях и процессе самостоятельной работы.

Зачет дает возможность преподавателю:

– выяснить уровень освоения обучающимися программы учебной дисциплины;

– оценить формирование определенных знаний и навыков их использования, необходимых и достаточных для будущей самостоятельной работы;

– оценить умение обучающихся творчески мыслить и логически правильно излагать ответы на поставленные вопросы.

Зачет проводится в форме собеседования, в процессе которого обучающийся отвечает на вопросы преподавателя.

Литература для подготовки к зачету рекомендуется преподавателем. Для полноты учебной информации и ее сравнения лучше использовать не менее двух учебников. Обучающийся вправе сам придерживаться любой из представленных в учебниках точек зрения по спорной проблеме (в том числе отличной от преподавателя), но при условии достаточной научной аргументации.

Основным источником подготовки к зачету является конспект лекций, где учебный материал дается в систематизированном виде, основные положения его детализируются, подкрепляются современными фактами и информацией, которые в силу новизны не вошли в опубликованные печатные источники. В ходе подготовки к зачету обучающимся необходимо обращать внимание не только на уровень запоминания, но и на степень понимания излагаемых проблем.

Зачет проводится по вопросам, охватывающим весь пройденный материал. По окончании ответа преподаватель может задать обучающемуся дополнительные и уточняющие вопросы. Положительным также будет стремление студента изложить различные точки зрения на рассматриваемую проблему, выразить свое отношение к ней, применить теоретические знания по современным проблемам экологии. Результаты зачета объявляются студенту непосредственно после окончания его ответа в день сдачи.

Критерии оценки: для получения оценки за зачет:

– на оценку «зачтено» – обучающийся должен показать высокий уровень знаний не только на уровне воспроизведения и объяснения информации, но и интеллектуальные навыки решения проблем и задач, нахождения уникальных ответов к проблемам, оценки и вынесения критических суждений; показать знания не только на уровне воспроизведения и объяснения информации, но и интеллектуальные навыки решения проблем и задач, нахождения уникальных ответов к проблемам; показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, интеллектуальные навыки решения простых задач;

– на оценку «не зачтено» – обучающийся не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.