

**«Национальный исследовательский технологический университет
«МИСИС»**

в г. Губкине Белгородской области (ГФ НИТУ «МИСИС»)

рабочая программа утверждена
решением Ученого совета
ГФ НИТУ «МИСИС»
от «26» июня 2026 г.
протокол № 5

Рабочая программа дисциплины Энергоэффективный привод

Закрепленная кафедра	<u>Кафедра горного дела</u>
Специальность/Направление подготовки	21.05.04 Горное дело
Квалификация	<u>Горный инженер (специалист)</u>
Форма обучения	<u>Очная</u>
Общая трудоемкость	8 ЗЕТ

Часов по учебному плану	<u>288</u>
в том числе:	
аудиторные занятия	<u>72</u>
самостоятельная работа	<u>180</u>
часов на контроль	<u>36</u>
Семестр(ы) изучения	<u>9</u>

Формы контроля в семестре:

экзамен в 9 семестре

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр	9		Итого
Вид занятий	УП	РП	
Лекции	36	36	36
Практические	36	36	36
Контактная работа	72	72	72
Сам. работа	180	180	180
Часы на контроль	36	36	36
Итого:	288	288	288

Год набора 2026 г.

Программу составил:
Тараненко Максим Евгеньевич, к.т.н., доцент,
Должность, уч.ст., уч.зв ФИО полностью

подпись

Рабочая программа дисциплины
Энергоэффективный привод

разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования – уровень специалитета федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» по специальности 21.05.04 Горное дело (приказ от «02» апреля 2021 г. № 119 о.в.)

Выпуск 3:
от 2 апреля 2021 г. № 119 о.в.

Составлена на основании учебного плана 2026 года набора:
21.05.04 Горное дело, утвержденного Ученым советом ГФ НИТУ «МИСИС» 26.06.2026г., протокол №5.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
горного дела
наименование кафедры

Протокол от «18» июня 2026 г. № 8

Зав. кафедрой ГД

подпись

Д.В. Ермолаев
И.О. Фамилия

«18» июня 2026 г.

Руководитель ОПОП ВО
Зав. кафедрой ГД, к.э.н, доцент

подпись

Д.В. Ермолаев
И.О. Фамилия

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ	
Цель дисциплины – формирование у студентов системных знаний в области энергоэффективных электроприводов, методов анализа и синтеза энергосберегающих систем управления, а также практических навыков выбора и эксплуатации энергоэффективного оборудования для горных предприятий. Задачи дисциплины: 1. Изучение принципов работы и классификации энергоэффективных приводов (электрических, гидравлических, комбинированных). 2. Освоение методов оценки энергетической эффективности систем привода и способов снижения потерь. 3. Формирование умений выбирать регулируемый электропривод для типовых технологических процессов горного производства. 4. Приобретение навыков расчета и оптимизации режимов работы энергоэффективного привода с использованием частотного регулирования и рекуперации. 5. Ознакомление с современными системами управления энергоэффективностью на горно-обогатительных предприятиях.	

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	
Часть ОПОП ВО (обязательная, вариативная)	
Вариативная	
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающихся предшествующие дисциплины (модули), практики и НИР
2.1.1	Математика
2.1.2	Физика
2.1.3	Электротехника
2.1.4	Теоретические основы электротехники
2.1.5	Электрические машины и электропривод
2.2	Дисциплины (модули), практики и НИР, для которых необходимо освоение данной дисциплины последующие дисциплины (модули), практики и НИР
2.2.1	Научно-исследовательская работа
2.2.2	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.3	Защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к процедуре защите и процедуру защиты

3. ИНДИКАТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ, СОВМЕЩЕННЫЕ С РЕЗУЛЬТАТАМИ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ	
ПК-2: Способен решать проектные задачи в области профессиональной деятельности	
Знать:	З-1 Принципы построения энергоэффективных систем привода, методы оценки энергопотребления и потерь.
Уметь:	У-1 Выбирать тип привода (электрический, гидравлический, комбинированный) на основе технико-экономического анализа с учётом требований энергоэффективности.
Владеть навыком:	Н-1 Методиками расчета энергетических показателей и проектирования энергоэффективных приводов для горных машин и оборудования.
ПК-3: Способен решать производственно-технологические задачи в области профессиональной деятельности	
Знать:	З-1 Современные технологии управления энергоэффективностью (частотно-регулируемый привод, рекуперация, интеллектуальные алгоритмы)
Уметь:	У-1 Выполнять настройку и оптимизацию режимов работы энергоэффективного привода для конкретных технологических процессов.
Владеть навыком:	Н-1 Эксплуатации и диагностики энергоэффективных систем привода на горных предприятиях.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ						
Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр	Кол-во часов	Компетенции	Литература	Примечание
1	Раздел 1. Теоретические основы энергоэффективного привода	9	36			
1.1	Введение. Энергоэффективность в горной промышленности. Основные понятия. /лекция/	9	2	ПК-2: 3-1; ПК-3: 3-1	Л1.1, Л1.2	
1.2	Классификация приводов (электрический, гидравлический, пневматический, комбинированный). /лекция/	9	4	ПК-2: 3-1	Л1.1, Л2.1	
1.3	Энергетические характеристики приводов. Потери энергии в электроприводах. /лекция/	9	4	ПК-2: 3-1; ПК-3: 3-1	Л1.1, Л2.2	
1.4	Частотно-регулируемый асинхронный привод: принцип действия, схемы, энергосберегающие режимы. /лекция/	9	6	ПК-2: 3-1; ПК-3: 3-1	Л1.2, Л2.1	
1.5	Синхронные двигатели с постоянными магнитами и вентильно-индукторные машины. /лекция/	9	4	ПК-2: 3-1	Л1.2, Л2.3	
1.6	Рекуперация энергии в электроприводах. Системы рекуперативного торможения. /лекция/	9	4	ПК-3: 3-1	Л2.1, Л2.2	
1.7	Интеллектуальные системы управления энергоэффективностью (нейросетевые алгоритмы, прогнозирование нагрузки). /лекция/	9	4	ПК-3: 3-1	Л1.1, Л2.3	
1.8	Энергоэффективные гидравлические приводы (насосы с переменной производительностью, сервоприводы). /лекция/	9	4	ПК-2: 3-1	Л2.1, Л2.2	
1.9	Технико-экономическая оценка энергоэффективности. Срок окупаемости инвестиций в энергосберегающие приводы. /лекция/	9	4	ПК-2: У-1; ПК-3: У-1	Л1.2, Л2.3	
2	Раздел 2. Практический	9	36			
2.1	Расчет энергетических характеристик асинхронного двигателя. Построение механических характеристик. /практика/	9	6	ПК-2: У-1; Н-1; ПК-3: У-1	Л1.1, Л2.1	
2.2	Выбор частотного преобразователя и расчет настроек для насосного агрегата. /практика/	9	6	ПК-2: У-1; Н-1; ПК-3: Н-1	Л1.2, Л2.2	
2.3	Оценка экономии электроэнергии при внедрении частотно-регулируемого	9	6	ПК-2: У-1; ПК-3: У-1	Л2.1, Л2.3	

	привода на конвейере. /практика/					
2.4	Моделирование системы рекуперативного торможения в среде MATLAB/Simulink. /практика/	9	6	ПК-2: Н-1; ПК-3: Н-1	Л2.2, Л2.3	
2.5	Сравнительный анализ энергоэффективных приводов для экскаватора и дробилки. /практика/	9	6	ПК-2: У-1; ПК-3: 3-1	Л1.1, Л2.1	
2.6	Расчет окупаемости модернизации привода главного вентилятора шахты. /практика/	9	6	ПК-2: У-1; Н-1	Л1.2, Л2.3	
3	Самостоятельная работа студента	9	180			
3.1	Работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по темам.	9	80	ПК-2: 3-1; ПК-3: 3-1	Л1, Л2	
3.2	Оформление практических работ.	9	60	ПК-2: Н-1; ПК-3: Н-1	Л1, Л2	
3.3	Выполнение индивидуального домашнего задания (ИДЗ) – «Проект энергоэффективной системы привода для технологического узла горного предприятия».	9	40	ПК-2: У-1, Н-1; ПК-3: У-1, Н-1	Л1, Л2	
4	Контроль	9	36			

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Контрольные вопросы для самостоятельной подготовки к промежуточной аттестации (экзамен) ПК-2: 3-1; ПК-3: 3-1

1. Дайте определение энергоэффективного привода. Каковы основные направления повышения энергоэффективности в горном производстве?
2. Классификация приводов по виду энергии, способу регулирования, конструктивному исполнению.
3. Опишите энергетические балансы асинхронного и синхронного электроприводов.
4. Потери энергии в электроприводах: виды, причины возникновения, способы снижения.
5. Принцип частотного регулирования асинхронного двигателя. Закон управления «U/f».
6. Преимущества и недостатки частотно-регулируемого привода по сравнению с нерегулируемым.
7. Синхронные двигатели с постоянными магнитами (PMSM): особенности, энергоэффективность.
8. Вентильно-индукторные машины: принцип работы, применение в горной технике.
9. Системы рекуперации энергии: схемы, устройства накопления, практическая реализация.
10. Методы оценки энергоэффективности привода (коэффициент полезного действия, удельный расход энергии, коэффициент мощности).
11. Интеллектуальные системы управления энергопотреблением: адаптивные регуляторы, прогнозирование.
12. Энергоэффективные гидравлические приводы (насосы с переменной производительностью, гидроаккумуляторы).
13. Сравнение электрического и гидравлического привода по энергетическим показателям.
14. Методика выбора частотного преобразователя для конкретной нагрузки (вентиляторная, постоянного момента).
15. Техно-экономический расчёт эффективности внедрения энергосберегающего привода.
16. Влияние качества электроэнергии (гармоники, перекос фаз) на энергоэффективность привода.
17. Энергоэффективные режимы работы краново-металлургических и конвейерных приводов.
18. Стандарты и нормативные документы в области энергоэффективности электроприводов.
19. Примеры реализации энергоэффективных приводов на горно-обогатительных комбинатах.
20. Перспективные направления: сверхпроводниковые электродвигатели, бестрансформаторные преобразователи частоты.

Вопросы для проверки умений и навыков (тесты)

1. Какой параметр наиболее полно характеризует энергоэффективность электропривода в реальных условиях эксплуатации?
 - a) Номинальная мощность двигателя
 - b) КПД при номинальной нагрузке
 - c) КПД во всём диапазоне нагрузок
 - d) Коэффициент мощности $\cos \varphi$
2. Какой тип электродвигателя обеспечивает наивысший КПД при работе на частичных нагрузках (например, 30–50 % от номинальной)?
 - a) Асинхронный с короткозамкнутым ротором
 - b) Асинхронный с фазным ротором
 - c) Синхронный с постоянными магнитами (PMSM)
 - d) Двигатель постоянного тока независимого возбуждения
3. Каким образом частотно-регулируемый привод (ЧРП) снижает энергопотребление центробежного насоса при уменьшении требуемой подачи?
 - a) Уменьшает напряжение на статоре двигателя
 - b) Снижает частоту вращения в соответствии с законом подобия ($Q \sim n$, $N \sim n^3$)
 - c) Периодически полностью отключает двигатель на время пауз
 - d) Переключает обмотки двигателя со звезды на треугольник
4. Что понимается под рекуперацией энергии в электроприводе?
 - a) Нагрев обмоток двигателя при электрическом торможении
 - b) Возврат механической энергии торможения обратно в питающую сеть
 - c) Плавный пуск двигателя с ограничением пускового тока
 - d) Автоматическое переключение питания на резервный ввод
5. Какой срок окупаемости модернизации привода для горного предприятия обычно считается экономически целесообразным при инвестиционном анализе?
 - a) до 1 года
 - b) до 3 лет
 - c) до 7 лет
 - d) до 10 лет
6. Какое устройство в составе ЧРП отвечает за сглаживание пульсаций выпрямленного напряжения и накопление энергии?
 - a) Входной дроссель
 - b) IGBT-транзистор
 - c) Звено постоянного тока (конденсаторная батарея)
 - d) ШИМ-контроллер
7. Для какой из перечисленных механических характеристик нагрузки применение частотного регулирования даёт максимальную относительную экономию электроэнергии (в процентах от исходного потребления)?
 - a) Постоянный момент ($M = \text{const}$)
 - b) Вентиляторная характеристика ($M \sim n^2$, $P \sim n^3$)
 - c) Мощность постоянна ($P = \text{const}$)
 - d) Линейно возрастающий момент ($M \sim n$)
8. Какая неисправность в системе электропривода чаще всего приводит к необоснованно высокому потреблению реактивной мощности и снижению энергоэффективности?
 - a) Повышенное напряжение на шинах
 - b) Обрыв или ослабление конденсаторов компенсации реактивной мощности
 - c) Пониженная частота питающей сети
 - d) Износ щёток коллекторного двигателя
9. Какой алгоритм управления ЧРП обеспечивает наиболее точное поддержание скорости при резкопеременной нагрузке (например, на экскаваторе, дробилке)?
 - a) Скалярное управление U/f
 - b) Векторное управление с обратной связью по скорости (сенсорное)
 - c) Прямое управление моментом (DTC) без датчика скорости
 - d) Пуск с постоянным током

10. При каком законе частотного регулирования асинхронного двигателя обеспечиваются минимальные потери в меди и стали при работе на постоянный момент нагрузки?

- a) $U/f = \text{const}$
- b) $U/f^2 = \text{const}$ (оптимальное по КПД)
- c) $I/f = \text{const}$
- d) $P/f = \text{const}$

11. Какой параметр наиболее полно характеризует энергоэффективность электропривода?

- a) Номинальная мощность
- b) КПД при номинальной нагрузке
- c) КПД во всем диапазоне нагрузок
- d) Коэффициент мощности

12. Какой тип электродвигателя обеспечивает наивысший КПД при частичных нагрузках?

- a) Асинхронный с короткозамкнутым ротором
- b) Асинхронный с фазным ротором
- c) Синхронный с постоянными магнитами
- d) Двигатель постоянного тока независимого возбуждения

13. Каким образом частотный преобразователь снижает энергопотребление насоса при уменьшении подачи?

- a) Уменьшает напряжение на двигателе
- b) Снижает частоту вращения согласно закону подобия
- c) Отключает двигатель на паузах
- d) Переключает обмотки двигателя со звезды на треугольник

14. Что такое рекуперация энергии в электроприводе?

- a) Нагрев двигателя при торможении
- b) Возврат энергии торможения в питающую сеть
- c) Плавный пуск двигателя
- d) Автоматическое переключение резерва

15. Какой срок окупаемости модернизации привода обычно считается экономически целесообразным для горных предприятий?

- a) до 1 года
- b) до 3 лет
- c) до 7 лет
- d) до 10 лет

Практические задания

ПК-2: 3-1, У-1, Н-1; ПК-3: 3-1, У-1, Н-1

Практические задания (пример)

Задание: Выполнить технико-экономическое обоснование замены нерегулируемого электропривода насосной установки ($P=110$ кВт, $\eta=0,85$) на частотно-регулируемый привод ($\eta=0,96$). Годовое число часов работы – 6000 ч, средняя нагрузка – 70% от номинальной. Тариф на электроэнергию – 6 руб./кВт·ч. Стоимость частотного преобразователя и работ – 800 тыс. руб. Определить годовую экономию электроэнергии и срок окупаемости.

Порядок выполнения:

1. Рассчитать потребление энергии до и после модернизации.
2. Определить годовую экономию в рублях.
3. Рассчитать срок окупаемости.
4. Сделать вывод о целесообразности инвестиций.

Темы докладов (презентаций)

1. Опыт внедрения частотно-регулируемых приводов на рудниках Норильского никеля.
2. Сравнительный анализ энергоэффективности синхронных и асинхронных двигателей.
3. Рекуперативные системы в карьерных экскаваторах.
4. Энергоэффективный гидропривод буровых станков.
5. Интеллектуальные алгоритмы управления энергопотреблением конвейерных линий.
6. Прогнозирование нагрузки и оптимизация работы приводов на основе нейронных сетей.
7. Мировой опыт применения сверхпроводниковых электрических машин.

Перечень работ, выполняемых в процессе изучения дисциплины (модуля, практики, НИР)

1. Выполнение практических и лабораторных работ из перечня в разделе 4.
2. Доклад с презентацией по заданной теме (по вариантам). Для выполнения работы рекомендуется использовать программное обеспечение Power Point (П1). Структура презентации характеризуется последовательностью, с использованием переходов между слайдами и гипертекстовыми ссылками на отдельные структурные элементы.
3. Тестирование 1,2,3 по Разделам 1,2,3. Тестирование осуществляется в целях текущего контроля студентов в рамках занятий с ограничением по времени не более 45 минут.
Оценочные материалы (оценочные средства), используемые для экзамена
Экзаменационный билет включает два теоретических вопроса и одну практическую задачу из приведённого перечня. Билеты хранятся на кафедре.
Методика оценки результатов обучения по дисциплине (модулю, практике, НИР)
Посещение лекций – 1 балл за занятие (всего 36 ч, максимум 18 баллов).
Выполнение практических работ (6 работ) – по 5 баллов каждая = 30 баллов.
Индивидуальное домашнее задание – 12 баллов.
Итого за семестр – 60 баллов.
- Условие допуска к экзамену по дисциплине – наличие не менее 40 баллов семестровой работы. - Методика расчета оценки на экзамене:
Ответ на экзамене оценивается в 40 баллов: до 20 баллов за ответ на теоретические вопросы и до 20 баллов за ответ на практическое задание.
Положения о промежуточной аттестации студентов ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС» (П 239.09-14)

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ				
6.1. Рекомендуемая литература				
6.1.1 Основная литература				
Обозна чение	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л 1.1	Москаленко В.В.	Электрический привод: учебник для вузов	Цифровой образовательный ресурс IPR SMART	М.: Академия, 2020
Л 1.2	Онищенко Г.Б.	Электрический привод: учебник	–	М.: ИНФРА-М, 2019
6.1.2 Дополнительная литература				
Обозна чение	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л 2.1	Ключев В.И.	Теория электропривода: учебник	–	М.: Энергоатомиздат, 2018
Л 2.2	Башарин А.В., Новиков В.А.	Управление электроприводами: учебное пособие	–	Л.: Энергия, 2017
Л 2.3	Лежнев В.Е.	Энергосбережение в электроприводе: монография	–	М.: МГТУ, 2019
6.1.3 Методические материалы				
Обозна чение	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»				
Э 1	www.google.ru			
Э 2	lms.misis.ru – LMS Moodle НИТУ «МИСИС»			
6.3. Перечень программного обеспечения				
П 1	Office Professional Plus 2016			
П 2	WINHOME 10 RUS			
6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных				
И 1	Научная электронная библиотека «eLIBRARY.RU» Договор № P97-2025/499 от 18.11.2025г. (НЭБ (ООО))			
И 2	Электронно-библиотечная система «IPRSMART» Лицензионный договор № 13053/25П/86 от 19.09.2025г. (ООО Компания «Ай Пи Ар Медиа»)			
И 3	Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека» ONLINE. Договор № P97-2025/471 от 06.11.2025г. (ООО «Современные цифровые технологии»)			

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ, ПРАКТИКИ, НИР)	
7.1	Ауд. 410. Лекционная аудитория. 1. Мультимедийная доска ACTIVboard 387Pro
7.2	Ауд. 212. Компьютерный класс. Аудитория для практических занятий. 1. Персональный компьютер в сборе FOX MIMO-65090: – системный блок iRu Home412 – 13 шт.; – монитор АОС – 13 шт. 2. Комплект мультимедийной аппаратуры: – мультимедиа-проектор Panasonic PT- LB30NTE; – экран на штативе Projecta Pro View.
7.3	Ауд. 219. Компьютерный класс. Аудитория для практических занятий. 1. Комплект мультимедийной аппаратуры: – мультимедиа-проектор Mitsubishi Ex200u; – экран; 2. Системный блок Intel – 13 шт.; 3. Монитор LG – 13 шт
7.4	Ауд. 217 Кабинет для самостоятельной работы и курсового проектирования 1. Компьютерная техника с возможностью подключения к сети "Интернет": – системный блок Intel Core2Duo E7500 (2,93 GHz, 3072Kb, 1066MHz, LGA775) – 11 шт.; – монитор 20" LED LCD AOS e2043Fs – 11 шт. 2. Плоттер HP DesignJet500;

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ
Учебная работа студентов по изучению дисциплины базируется на аудиторных и внеаудиторных занятиях. Аудиторные занятия состоят из лекций и практических занятий, которые проводятся по расписанию. Внеаудиторная (самостоятельная) работа предусматривает изучение теоретических основ дисциплины по учебникам и научно-технической литературе. В программе дисциплины приведено наименование и содержание тем, подлежащих изучению. Темы дисциплины, которые студенты должны изучить самостоятельно, указаны в разделе «Самостоятельная работа». Для самостоятельной работы студентам предоставляются компьютерные классы ГФ НИТУ «МИСИС», также студент может использовать личный ноутбук. В процессе самостоятельной работы студенты используют электронную обучающую систему Moodle, в которую помещены лекции, вопросы для самоподготовки, списки тем для контрольных мероприятий, а также рекомендации и методические руководства. Знания, умения и навыки, приобретенные студентами на лекциях, практических занятиях и самостоятельно, преподаватель контролирует на экзамене и при защите домашнего задания, отчетов по выполнению практических работ, презентации и тестового контроля.