

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
"САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ"

Кафедра № 31

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель образовательной программы

Ст. преподаватель

(должность, уч. степень, звание)

А.В. Статкевич

(инициалы, фамилия)

(подпись)

«16» февраля 2026 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Высокотемпературные сверхпроводниковые электрические машины»
(Наименование дисциплины)

Код направления подготовки/ специальности	16.03.01
Наименование направления подготовки/ специальности	Техническая физика
Наименование направленности/ специализации	Физические методы контроля качества и диагностики
Форма обучения	очная
Год приема	2026

Санкт-Петербург– 2026

Лист согласования рабочей программы дисциплины

Программу составил (а)

ст. преп.

(должность, уч. степень, звание)

16.02.2026

(подпись, дата)

С.С. Тимофеев

(инициалы, фамилия)

Программа одобрена на заседании кафедры № 31

«16» февраля 2026 г, протокол № 5

Заведующий кафедрой № 31

д.т.н., проф.

(уч. степень, звание)

16.02.2026

(подпись, дата)

В.Ф. Шишляков

(инициалы, фамилия)

Заместитель директора института №3 по методической работе

доц., к.т.н.

(должность, уч. степень, звание)

16.02.2026

(подпись, дата)

Н.В. Решетникова

(инициалы, фамилия)

Аннотация

Дисциплина «Высокотемпературные сверхпроводниковые электрические машины» входит в образовательную программу высшего образования – программу бакалавриата по направлению подготовки/ специальности 16.03.01 «Техническая физика» направленности/специализации «Физические методы контроля качества и диагностики». Дисциплина реализуется кафедрой «№31».

Дисциплина не является обязательной при освоении обучающимся образовательной программы и направлена на углубленное формирование следующих компетенций:

ПК-1 «Способность применять эффективные методы исследования физико-технических объектов, процессов и материалов, проводить стандартные и сертификационные испытания технологических процессов и изделий с использованием современных аналитических средств технической физики»

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с физическими основами сверхпроводимости, конструкцией и принципами работы электрических машин на основе высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП), системами охлаждения, технологиями изготовления ВТСП-обмоток, а также перспективами применения таких машин в энергетике, транспорте и промышленности.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, самостоятельная работа обучающегося.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущий контроль успеваемости, промежуточная аттестация в форме дифференцированного зачета (5 семестр).

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 часа.

Язык обучения по дисциплине «русский»

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

1.1. Цели преподавания дисциплины

Цель дисциплины — формирование у студентов глубокого понимания особенностей ВТСП-технологий, способности анализировать эффективность, проектировать элементы и оценивать технико-экономические преимущества сверхпроводниковых электрических машин по сравнению с традиционными.

1.2. Дисциплина является факультативной дисциплиной по направлению образовательной программы высшего образования (далее – ОП ВО).

1.3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОП ВО.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен обладать следующими компетенциями или их частями. Компетенции и индикаторы их достижения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень компетенций и индикаторов их достижения

Категория (группа) компетенции	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Профессиональные компетенции	ПК-1 Способность применять эффективные методы исследования физико-технических объектов, процессов и материалов, проводить стандартные и сертификационные испытания технологических процессов и изделий с использованием современных аналитических средств технической физики	ПК-1.3.1 знать методы исследования физико-технических объектов, процессов и материалов ПК-1.В.1 владеть навыками исследования физико-технических объектов и работы с ними

2. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина может базироваться на знаниях, ранее приобретенных обучающимися при изучении следующих дисциплин:

- «Теория физических полей»,
- «Физика»,
- «Инженерная и компьютерная графика».

3. Объем и трудоемкость дисциплины

Данные об общем объеме дисциплины, трудоемкости отдельных видов учебной работы по дисциплине (и распределение этой трудоемкости по семестрам) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Объем и трудоемкость дисциплины

Вид учебной работы	Всего	Трудовоемкость по семестрам
		№5
1	2	3
Общая трудовоемкость дисциплины, 3Э/ (час)	2/ 72	2/ 72
Из них часов практической подготовки	17	17
Аудиторные занятия, всего час.	34	34
в том числе:		
лекции (Л), (час)	17	17
практические/семинарские занятия (ПЗ), (час)	17	17
лабораторные работы (ЛР), (час)		
курсовой проект (работа) (КП, КР), (час)		
экзамен, (час)		
Самостоятельная работа, всего (час)	38	38
Вид промежуточной аттестации: зачет, дифф. зачет, экзамен (Зачет, Дифф. зач, Экз.)	Дифф. зач.,	Дифф. зач.,

4. Содержание дисциплины

4.1. Распределение трудоемкости дисциплины по разделам и видам занятий.
Разделы, темы дисциплины и их трудоемкость приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Разделы, темы дисциплины, их трудоемкость

Разделы, темы дисциплины	Лекции (час)	ПЗ (СЗ) (час)	ЛР (час)	КП/КР (час)	СР (час)
Семестр 5					
Раздел 1. Введение в сверхпроводимость Тема 1.1. Основные понятия: нулевое сопротивление, эффект Мейснера. Тема 1.2. История открытия сверхпроводимости (Камерлинг-Оннес). Тема 1.3. Классификация сверхпроводников: Тема 1.4. Низкотемпературные (НТСП, например, NbTi, Nb ₃ Sn). Тема 1.5. Высокотемпературные (ВТСП, например, YBCO, Bi-2223, Hg-1223).	2				6
Раздел 2. Физические основы работы ВТСП-материалов Тема 2.1. Теория БКШ и её ограничения для ВТСП. Тема 2.2. Особенности купратных сверхпроводников. Тема 2.3. Влияние дефектов, текстуры и границ зёрен на J _c Тема 2.4. Пиннинг магнитных вихрей и его роль в повышении токонесущей способности.	3	2			6

Раздел 3. Конструкции ВТСП-электрических машин Тема 3.1. Принципиальные отличия от традиционных машин. Тема 3.2. Синхронные генераторы и двигатели. Тема 3.3. Асинхронные машины с ВТСП-ротором. Тема 3.4. Машинные агрегаты для ветроэнергетики. Тема 3.5. Расположение обмоток: ВТСП на роторе (основное применение). Тема 3.6. Возможности ВТСП-статоров. Экранирование и защита от магнитного поля.	3				6
Раздел 4. Системы охлаждения ВТСП-машин Тема 4.1. Требования к криогенной системе. Тема 4.2. Использование жидкого азота (77 К) — основное преимущество ВТСП. Тема 4.3. Криогенные контейнеры (криостаты), тепловые экраны. Тема 4.4. Технологии герметичных и циркуляционных систем. Тема 4.5. Энергопотребление криогенных установок.	3	3			6
Раздел 5. Применение ВТСП-машин Тема 5.1. Генераторы для ветряных турбин (10 МВт и выше). Тема 5.2. Компактные генераторы для судов. Тема 5.3. Тяговые двигатели для поездов и электролётов. Тема 5.4. Магнитолевитационные системы (Маглев). Тема 5.5. Приводы для насосов, компрессоров. Тема 5.6. Синхронные двигатели для нефтегазовой отрасли. Тема 5.7. Магниты для ускорителей, термоядерных реакторов (ITER).	3	9			6
Раздел 6. Практические аспекты проектирования Тема 6.1. Методики расчёта магнитных полей в ВТСП-обмотках. Тема 6.2. Моделирование тепловых процессов. Тема 6.3. Программные пакеты: COMSOL Multiphysics (электромагнетизм + теплопередача). ANSYS Maxwell. Тема 6.4. Оценка экономической эффективности.	3	3			8
Итого в семестре:	17	17			38
Итого	17	17	0	0	38

Практическая подготовка заключается в непосредственном выполнении обучающимися определенных трудовых функций, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

4.2. Содержание разделов и тем лекционных занятий.

Содержание разделов и тем лекционных занятий приведено в таблице 4.

Таблица 4 – Содержание разделов и тем лекционного цикла

Номер раздела	Название и содержание разделов и тем лекционных занятий

4.3. Практические (семинарские) занятия

Темы практических занятий и их трудоемкость приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Практические занятия и их трудоемкость

№ п/п	Темы практических занятий	Формы практических занятий	Трудоемкость, (час)	Из них практической подготовки, (час)	№ раздела дисциплины
Семестр 5					
1	Моделирование магнитного поля в ВТСП-обмотке с помощью Simscape Electrical	Расчетно-графическая работа	2	2	2
2	Моделирование синхронного генератора с ВТСП-ротором	Расчетно-графическая работа	3	3	5
3	Моделирование теплового режима ВТСП-обмотки	Расчетно-графическая работа	3	3	4
4	Моделирование динамики ВТСП-двигателя в составе электропривода	Расчетно-графическая работа	3	3	5
5	Моделирование устойчивости ВТСП-обмотки при квазичастицах и флуктуациях тока	Расчетно-графическая работа	3	3	5
6	Сравнительный анализ эффективности ВТСП-и традиционных машин	Расчетно-графическая работа	3	3	6
Всего			17		

4.4. Лабораторные занятия

Темы лабораторных занятий и их трудоемкость приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Лабораторные занятия и их трудоемкость

№ п/п	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, (час)	Из них практической подготовки, (час)	№ раздела дисциплины
Учебным планом не предусмотрено				
Всего				

4.5. Выполнение курсового проекта/ курсовой работы

Учебным планом не предусмотрено

4.6. Самостоятельная работа обучающихся

Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость

Вид самостоятельной работы	Всего, час	Семестр 5, час
1	2	3
Изучение теоретического материала дисциплины (ТО)	20	20
Курсовое проектирование (КП, КР)		
Расчетно-графические задания (РГЗ)		
Выполнение реферата (Р)		
Подготовка к текущему контролю успеваемости (ТКУ)		
Домашнее задание (ДЗ)		
Контрольные работы заочников (КРЗ)		
Подготовка к промежуточной аттестации (ПА)	18	18
Всего:	38	38

5. Перечень учебно-методического обеспечения

для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся указаны в п.п. разделов 6-11.

6. Перечень печатных и электронных учебных изданий

Перечень печатных и электронных учебных изданий приведен в таблице 8.

Таблица 8– Перечень печатных и электронных учебных изданий

Шифр/ URL адрес	Библиографическая ссылка	Количество экземпляров в библиотеке (кроме электронных экземпляров)
https://urait.ru/book/materialovedenie-v-mashinostroenii-konstrukcionnye-i-funkcionalnye-materialy-558802 <i>Режим доступа: для авторизованных пользователей.</i>	Рогов, В. А. Материаловедение в машиностроении. Конструкционные и функциональные материалы : учебник для среднего профессионального образования / В. А. Рогов, Г. Г. Позняк. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство	

	Юрайт, 2025. — 176 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-20802-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт].	
https://urait.ru/book/termodinamika-585773 <i>Режим доступа: для авторизованных пользователей.</i>	Бобошина, С. Б. Термодинамика : учебник для вузов / С. Б. Бобошина, Г. Н. Измайлов. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2026. — 202 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-21283-9. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт].	
https://urait.ru/book/elektricheskie-mashiny-i-transformatory-561182 <i>Режим доступа: для авторизованных пользователей.</i>	Игнатович, В. М. Электрические машины и трансформаторы : учебник для вузов / В. М. Игнатович, Ш. С. Ройз. — 7-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 145 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-18047-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт].	
https://urait.ru/book/elektricheskie-mashiny-583600 <i>Режим доступа: для авторизованных пользователей.</i>	Электрические машины : учебник и практикум для вузов / В. И. Киселев, Э. В. Кузнецов, А. И. Копылов, В. П. Лунин ; под общей редакцией В. П. Лунина. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2026. — 231 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-19656-6. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт].	

**7. Перечень электронных образовательных ресурсов
информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

URL адрес	Наименование
https://pro.guap.ru/	Материалы для выполнения лабораторных, практических и курсовых работ, варианты для их выполнения, а также электронный лекционный материал по дисциплине размещаются внутри ЭИОС ГУАП «Интегрированная среда обучения» в течение учебного семестра
https://lms.guap.ru	Тестирования для проведения контрольных работ, а также для проведения промежуточной аттестации размещаются в системе дистанционного обучения ГУАП в течение учебного семестра

8. Перечень информационных технологий

8.1. Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Перечень используемого программного обеспечения представлен в таблице 10.

Таблица 10– Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование
1	Электронная информационно-образовательная среда ГУАП «Интегрированная среда обучения» (https://pro.guap.ru/) разработана сотрудниками ГУАП (введена в эксплуатацию приказом ГУАП от 06.06.2017 № 05-215/17), перечень модулей и их функциональное назначение изложены по ссылке https://guap.ru/it/system/iso
2	Официальный сайт образовательной организации в сети «Интернет» (https://guap.ru/), разработан сотрудниками ГУАП (введен в эксплуатацию Приказом ГУАП от 23.03.2023 № 05-145/23)
3	MathWorks MATLAB (договор ГУАП, информация о лицензии представлена по ссылке https://guap.ru/it/system/iso/po)
4	LibreOffice 5 (Лицензия LGPLv3)

8.2. Перечень информационно-справочных систем,используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Перечень используемых информационно-справочных систем представлен в таблице 11.

Таблица 11– Перечень информационно-справочных систем

№ п/п	Наименование
1	Образовательная платформа «Юрайт» (https://urait.ru/), доступ через личный кабинет читателя библиотеки ГУАП, а также по IP -адресам ГУАП
2	Электронный каталог библиотеки ГУАП с доступом к базе полнотекстовых изданий (https://lib.guap.ru), доступ через личный кабинет читателя библиотеки ГУАП

9. Материально-техническая база

Состав материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине, представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Состав материально-технической базы

№ п/п	Наименование составной части материально-технической базы	Номер аудитории (при необходимости)
1	Мультимедийная лекционная аудитория: Специализированная мебель; технические средства обучения, служащие для представления учебной информации большой аудитории; набор демонстрационного оборудования. Обеспечен доступ в электронную информационно-образовательную среду ГУАП по точке доступа Wi-Fi.	
2	Лаборатория компьютерного моделирования: – специализированная мебель; – технические средства обучения, служащие для представления учебной информации; панель интерактивная/телевизор; Лабораторное оборудование: ПЭВМ – «Место рабочее автоматизированное» – 13 шт. Обеспечен доступ в электронную информационно-образовательную среду ГУАП по локальной вычислительной сети.	21-12, 21-13 (ул. Большая Морская, д.67, лит. А)
3	Помещение для самостоятельной работы, Интернет-класс. Специализированная мебель, возможность подключения к сети «Интернет» и доступ в электронную информационно-образовательную среду организации. 10 ПК, Принтер лазерный HPLJP4515n, Принтер HP LaserJetEnterprise 600 M602dn.	12-16 (ул. Большая Морская, д.67, лит. А)
4	Помещение для самостоятельной работы обучающихся - Читальный зал библиотеки ГУАП: специализированная мебель; персональные компьютеры – 10 шт., обеспечен доступ в электронную информационно-образовательную среду ГУАП по локальной вычислительной сети и точке доступа WiFi, а также к электронно-библиотечным системам, реферативной базе данных Scopus; копировальный аппарат Kyocera KM2035.	22-19 (ул. Большая Морская, д.67, лит. А)

10. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

10.1. Состав оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Состав оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

Вид промежуточной аттестации	Перечень оценочных средств
Дифференцированный зачёт	Тесты.

10.2. В качестве критериев оценки уровня сформированности (освоения) компетенций обучающимися применяется 5-балльная шкала оценки сформированности компетенций, которая приведена в таблице 14. В течение семестра может использоваться 100-балльная шкала модульно-рейтинговой системы Университета, правила

использования которой, установлены соответствующим локальным нормативным актом ГУАП.

Таблица 14 – Критерии оценки уровня сформированности компетенций

Оценка компетенции 5-балльная шкала	Характеристика сформированных компетенций
«отлично» «зачтено»	Обучающийся: – глубоко и всесторонне усвоил программный материал; – уверенно, логично, последовательно и грамотно его излагает; – опираясь на знания основной и дополнительной литературы, тесно связывает усвоенные научные положения с практической деятельностью направления; – умело обосновывает и аргументирует выдвигаемые им идеи; – делает выводы и обобщения; – свободно владеет системой специализированных понятий. – правильно выполнил от 90% до 100% тестовых заданий**.
«хорошо» «зачтено»	Обучающийся: – твердо усвоил программный материал, грамотно и по существу излагает его, опираясь на знания основной литературы; – не допускает существенных неточностей; – увязывает усвоенные знания с практической деятельностью направления; – аргументирует научные положения; – делает выводы и обобщения; – владеет системой специализированных понятий. – правильно выполнил от 70% до 89% тестовых заданий**.
«удовлетворительно» «зачтено»	– обучающийся усвоил только основной программный материал, по существу излагает его, опираясь на знания только основной литературы; – допускает несущественные ошибки и неточности; – испытывает затруднения в практическом применении знаний направления; – слабо аргументирует научные положения; – затрудняется в формулировании выводов и обобщений; – частично владеет системой специализированных понятий. – правильно выполнил от 51% до 69% тестовых заданий**.
«неудовлетворительно» «не зачтено»	– обучающийся не усвоил значительной части программного материала; – допускает существенные ошибки и неточности при рассмотрении проблем в конкретном направлении; – испытывает трудности в практическом применении знаний; – не может аргументировать научные положения; – не формулирует выводов и обобщений. – правильно выполнил менее 51% тестовых заданий**.

10.3. Типовые контрольные задания или иные материалы.

Вопросы (задачи) для экзамена представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Вопросы (задачи) для экзамена

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для экзамена	Код индикатора
	Учебным планом не предусмотрено	

Вопросы (задачи) для зачета / дифф. зачета представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Вопросы (задачи) для зачета / дифф. зачета

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для зачета / дифф. зачета	Код индикатора
-------	---	----------------

	Учебным планом не предусмотрено	
--	---------------------------------	--

Перечень тем для выполнения курсового проекта/ курсовой работы представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Перечень тем для выполнения курсового проекта / курсовой работы

№ п/п	Примерный перечень тем для выполнения курсового проекта/ курсовой работы
	Учебным планом не предусмотрено

Вопросы для проведения промежуточной аттестации в виде тестирования представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Примерный перечень вопросов для тестов

№ п/п	Примерный перечень вопросов для тестов	Код индикатора
	<p>1 тип) Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырех предложенных и обоснованием выбора. Инструкция: Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа. При какой температуре достигается состояние сверхпроводимости у низкотемпературных сверхпроводников (НТСП)?</p> <p>А) При комнатной температуре (25° С). Б) При температуре жидкого азота (77 К). В) При температуре, близкой к абсолютному нулю (4,2 К или ниже). Г) При температуре кипения воды (100 ° С).</p> <p>Ответ: В.</p>	ПК-1.3.1
	<p>2 тип) Задание комбинированного типа с выбором нескольких вариантов ответа из предложенных и развернутым обоснованием выбора. Инструкция: Прочитайте текст, выберите правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов. Какие преимущества имеют сверхпроводящие двигатели перед традиционными? Выберите все верные варианты.</p> <p>А) Более высокий КПД за счёт нулевого сопротивления обмоток. Б) Отсутствие необходимости в охлаждении. В) Большая токонесущая способность при тех же габаритах. Г) Возможность создания более сильных магнитных полей. Д) Работа при комнатной температуре.</p> <p>Правильные ответы: А, В, Г.</p>	ПК-1.3.1
	<p>3 тип) Задание закрытого типа на установление соответствия. Инструкция: Прочитайте текст и установите соответствие. К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию в правом столбце.</p> <p>становите соответствие между типом сверхпроводника и его характеристиками.</p>	ПК-1.3.1

	<p>Тип сверхпроводника</p> <p>1) Низкотемпературный (НТСП)</p> <p>2) Высокотемпературный (ВТСП)</p> <p>Характеристики</p> <p>А) Критическая температура выше 77 К</p> <p>Б) Требуется охлаждения жидким гелием (4,2 К)</p> <p>В) Может работать при охлаждении жидким азотом (77 К)</p> <p>Г) Типичные материалы: NbTi, Nb₃Sn</p> <p>Д) Типичные материалы: YBCO, Bi-2223</p> <p>Правильный ответ:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1 → Б, Г; • 2 → А, В, Д. 	
	<p>4 тип) Задание закрытого типа на установление последовательности.</p> <p>Инструкция: Прочитайте текст и установите последовательность. Запишите соответствующую последовательность букв слева направо.</p> <p>Расположите этапы запуска сверхпроводящего двигателя в правильной последовательности. Запишите последовательность букв слева направо.</p> <p>А) Охлаждение обмоток до критической температуры.</p> <p>Б) Создание вращающегося магнитного поля.</p> <p>В) Подача электрического тока на сверхпроводящие обмотки.</p> <p>Г) Начало вращения ротора под действием магнитного поля.</p> <p>Последовательность: А → В → Б → Г.</p>	ПК-1.3.1
	<p>5 тип) Задание открытого типа с развернутым ответом.</p> <p>Инструкция: Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ.</p> <p>5. Объясните, почему сверхпроводящие двигатели перспективны для использования в транспортной отрасли (поезда, суда, авиация). Приведите не менее трёх аргументов, каждый из которых подтвердите конкретными техническими или экономическими показателями.</p> <p>Пример развернутого ответа:</p> <p>Сверхпроводящие двигатели перспективны для транспорта по следующим причинам:</p> <p>Высокая удельная мощность. ВТСП-двигатели могут обеспечивать мощность до 10 МВт при массе и габаритах, сопоставимых с традиционными двигателями мощностью 2–3 МВт. Это особенно важно для транспорта, где критически важны масса и занимаемый объём (например, для авиации или высокоскоростных поездов).</p> <p>Высокий КПД. Благодаря нулевому сопротивлению обмоток КПД сверхпроводящих двигателей достигает 98–99 %, тогда как у</p>	ПК-1.3.1

	<p>традиционных асинхронных двигателей он составляет 90–95 %. Экономия энергии на длинных маршрутах (например, в судоходстве) компенсирует затраты на криогенное охлаждение. Снижение эксплуатационных расходов. Срок службы сверхпроводящих обмоток превышает 25–30 лет из-за отсутствия износа от джоулевых потерь. Для сравнения, традиционные обмотки требуют замены или ремонта каждые 15–20 лет. Кроме того, использование жидкого азота (77 К) вместо жидкого гелия (4,2 К) снижает стоимость охлаждения в 10–15 раз.</p> <p>Возможность масштабирования. Сверхпроводящие технологии позволяют создавать двигатели мощностью свыше 10 МВт без резкого роста размеров и массы. Это делает их идеальными для крупных судов или высокоскоростных железнодорожных систем, где требуются мощные и компактные силовые установки.</p>	
	<p>1 тип) Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырех предложенных и обоснованием выбора.</p> <p>Инструкция: Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа.</p> <p>Кто впервые экспериментально обнаружил явление сверхпроводимости?</p> <p>А) Альберт Эйнштейн. Б) Хейке Камерлинг-Оннес. В) Нильс Бор. Г) Макс Планк.</p> <p>Правильный ответ: Б)</p>	ПК-1.В.1
	<p>2 тип) Задание комбинированного типа с выбором нескольких вариантов ответа из предложенных и развернутым обоснованием выбора.</p> <p>Инструкция: Прочитайте текст, выберите правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов.</p> <p>Какие из перечисленных материалов относятся к высокотемпературным сверхпроводникам (ВТСП)? Выберите все верные варианты.</p> <p>А) NbTi (ниобий-титан). Б) YBCO (YBa₂Cu₃O_{7-x}, оксид иттрия-бария-меди). В) Nb₃Sn (станнид ниобия). Г) Bi-2223 (Bi₂Sr₂Ca₂Cu₃O₁₀, висмут-стронций-кальций-медный оксид). Д) Hg-1223 (HgBa₂Ca₂Cu₃O₈, ртуть-барий-кальций-медный оксид).</p> <p>Правильные ответы: Б, Г, Д.</p>	ПК-1.В.1
	<p>3 тип) Задание закрытого типа на установление соответствия.</p> <p>Инструкция: Прочитайте текст и установите соответствие. К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию в правом столбце.</p> <p>Установите соответствие между компонентом сверхпроводящего</p>	ПК-1.В.1

	<p>двигателя и его функцией.</p> <table><thead><tr><th>Компонент</th><th>Функция</th></tr></thead><tbody><tr><td>1) ВТСП-обмотка статора</td><td>А) Создание вращающего момента за счёт взаимодействия с магнитным полем</td></tr><tr><td>2) Ротор</td><td>Б) Генерация сильного магнитного поля при протекании тока</td></tr><tr><td>3) Криостат</td><td>В) Поддержание сверхпроводящего состояния обмоток</td></tr><tr><td>4) Система охлаждения</td><td>Г) Обеспечение циркуляции хладагента (жидкого азота/гелия)</td></tr></tbody></table> <p>Правильный ответ: 1 → Б; 2 → А; 3 → В; 4 → Г.</p>	Компонент	Функция	1) ВТСП-обмотка статора	А) Создание вращающего момента за счёт взаимодействия с магнитным полем	2) Ротор	Б) Генерация сильного магнитного поля при протекании тока	3) Криостат	В) Поддержание сверхпроводящего состояния обмоток	4) Система охлаждения	Г) Обеспечение циркуляции хладагента (жидкого азота/гелия)	
Компонент	Функция											
1) ВТСП-обмотка статора	А) Создание вращающего момента за счёт взаимодействия с магнитным полем											
2) Ротор	Б) Генерация сильного магнитного поля при протекании тока											
3) Криостат	В) Поддержание сверхпроводящего состояния обмоток											
4) Система охлаждения	Г) Обеспечение циркуляции хладагента (жидкого азота/гелия)											
	<p>4 тип) Задание закрытого типа на установление последовательности. Инструкция: Прочитайте текст и установите последовательность. Запишите соответствующую последовательность букв слева направо.</p> <p>Расположите этапы работы сверхпроводящего двигателя в правильной последовательности. Запишите последовательность букв слева направо.</p> <p>А) Охлаждение обмоток до температуры ниже критической ($T < T_c$). Б) Подача электрического тока на ВТСП-обмотки. В) Создание сильного магнитного поля в обмотках. Г) Начало вращения ротора под действием магнитного поля. Д) Поддержание температуры обмоток в сверхпроводящем состоянии в процессе работы.</p> <p>Последовательность: А → Б → В → Г → Д.</p>	ПК-1.В.1										
	<p>5 тип) Задание открытого типа с развернутым ответом. Инструкция: Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ.</p> <p>Объясните, почему сверхпроводящие двигатели перспективны для применения в ветроэнергетике (например, в генераторах для офшорных ветряных турбин). Приведите не менее трёх аргументов, каждый из которых подтвердите конкретными техническими или экономическими показателями.</p> <p>Пример развёрнутого ответа:</p>	ПК-1.В.1										

	<p>Сверхпроводящие двигатели (генераторы) перспективны для ветроэнергетики по следующим причинам:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Высокая удельная мощность и компактность. ВТСП-генераторы могут обеспечивать мощность 10–20 МВт при массе и габаритах, сопоставимых с традиционными генераторами мощностью 3–5 МВт. Это критически важно для офшорных установок, где монтаж и обслуживание стоят дорого. Например, генератор мощностью 10 МВт на основе ВТСП может быть на 40 % легче и компактнее классического синхронного генератора той же мощности. 2. Высокий КПД. Благодаря нулевому сопротивлению обмоток КПД сверхпроводящих генераторов достигает 98–99 %, тогда как у традиционных асинхронных или синхронных машин он составляет 90–95 %. Экономия энергии на длинных сроках эксплуатации компенсирует затраты на криогенное охлаждение жидким азотом (77 К). 3. Снижение эксплуатационных расходов. Срок службы ВТСП-обмоток превышает 25–30 лет из-за отсутствия износа от джоулевых потерь. Для сравнения, традиционные обмотки требуют ремонта или замены каждые 15–20 лет. Кроме того, использование жидкого азота вместо жидкого гелия снижает стоимость охлаждения в 10–15 раз. 4. Устойчивость к перегрузкам. ВТСП-материалы способны выдерживать кратковременные токи, в 5–10 раз превышающие номинальные, без повреждений. Это важно для ветрогенераторов, работающих в условиях нестабильной скорости ветра и резких изменений нагрузки. 5. Экологичность. Снижение энергопотребления и увеличение КПД приводит к уменьшению выбросов CO₂ на всём жизненном цикле установки. В сочетании с возможностью использования возобновляемых источников энергии для питания криогенных систем это делает ВТСП-генераторы перспективным решением для «зелёной» энергетики. 	
--	---	--

Перечень тем контрольных работ по дисциплине обучающихся заочной формы обучения, представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Перечень контрольных работ

№ п/п	Перечень контрольных работ
	Не предусмотрено

10.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания индикаторов, характеризующих этапы формирования компетенций, содержатся в локальных нормативных актах ГУАП, регламентирующих порядок и процедуру проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся ГУАП.

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

11.1. Методические указания для обучающихся по освоению лекционного материала.

Основное назначение лекционного материала – логически стройное, системное, глубокое и ясное изложение учебного материала. Назначение современной лекции в рамках дисциплины не в том, чтобы получить всю информацию по теме, а в освоении фундаментальных проблем дисциплины, методов научного познания, новейших достижений научной мысли. В учебном процессе лекция выполняет методологическую, организационную и информационную функции. Лекция раскрывает понятийный аппарат конкретной области знания, её проблемы, дает цельное представление о дисциплине, показывает взаимосвязь с другими дисциплинами.

Планируемые результаты при освоении обучающимися лекционного материала:

- получение современных, целостных, взаимосвязанных знаний, уровень которых определяется целевой установкой к каждой конкретной теме;
- получение опыта творческой работы совместно с преподавателем;
- развитие профессионально-деловых качеств, любви к предмету и самостоятельного творческого мышления.
- появление необходимого интереса, необходимого для самостоятельной работы;
- получение знаний о современном уровне развития науки и техники и о прогнозе их развития на ближайшие годы;
- научиться методически обрабатывать материал (выделять главные мысли и положения, приходить к конкретным выводам, повторять их в различных формулировках);
- получение точного понимания всех необходимых терминов и понятий.

Лекционный материал может сопровождаться демонстрацией слайдов и использованием раздаточного материала при проведении коротких дискуссий об особенностях применения отдельных тематик по дисциплине.

Структура предоставления лекционного материала:

- постановка задачи;
- основные сведения по теме лекции;
- результаты и выводы.

11.2. Методические указания для обучающихся по участию в семинарах
Учебным планом не предусмотрено

11.3. Методические указания для обучающихся по прохождению практических занятий

Практическое занятие является одной из основных форм организации учебного процесса, заключающаяся в выполнении обучающимися под руководством преподавателя комплекса учебных заданий с целью усвоения научно-теоретических основ учебной дисциплины, приобретения умений и навыков, опыта творческой деятельности.

Целью практического занятия для обучающегося является привитие обучающимся умений и навыков практической деятельности по изучаемой дисциплине.

Планируемые результаты при освоении обучающимися практических занятий:

- закрепление, углубление, расширение и детализация знаний при решении конкретных задач;
- развитие познавательных способностей, самостоятельности мышления, творческой активности;
- овладение новыми методами и методиками изучения конкретной учебной дисциплины;

- выработка способности логического осмысления полученных знаний для выполнения заданий;
- обеспечение рационального сочетания коллективной и индивидуальной форм обучения.

Требования к проведению практических занятий

Методические указания и требования к проведению практических занятий приведены в следующих источниках:

Электрические машины : учебник и практикум для вузов / В. И. Киселев, Э. В. Кузнецов, А. И. Копылов, В. П. Лунин ; под общей редакцией В. П. Лунина. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2026. — 231 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-19656-6. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт].

11.4. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ

Учебным планом не предусмотрено

11.5. Методические указания для обучающихся по выполнению курсового проекта/ курсовой работы

Учебным планом не предусмотрено

11.6. Методические указания для обучающихся по прохождению самостоятельной работы

В ходе выполнения самостоятельной работы, обучающийся выполняет работу по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

В процессе выполнения самостоятельной работы у обучающегося формируется целесообразное планирование рабочего времени, которое позволяет ему развивать умения и навыки в усвоении и систематизации приобретаемых знаний, обеспечивает высокий уровень успеваемости в период обучения, помогает получить навыки повышения профессионального уровня.

Основными методическими материалами, направляющими самостоятельную работу обучающихся, являются источники из перечня печатных и электронных учебных изданий, указанных в таблице 8. Кроме этого, обучающийся может пользоваться электронными ресурсами, указанными в таблицах 9 и 11.

11.7. Методические указания для обучающихся по прохождению текущего контроля успеваемости.

Текущий контроль успеваемости предусматривает контроль качества знаний обучающихся, осуществляемого в течение семестра с целью оценивания хода освоения дисциплины.

Текущий контроль успеваемости (ТКУ) осуществляется путем проведения двух контрольных работ в семестре, а также путем оценки выполнения лабораторных работ.

В случае невыполнения условий ТКУ обучающийся при прохождении промежуточной аттестации не может получить оценку выше, чем «удовлетворительно».

11.8. Методические указания для обучающихся по прохождению промежуточной аттестации.

Промежуточная аттестация обучающихся предусматривает оценивание промежуточных и окончательных результатов обучения по дисциплине. Она включает в себя:

– дифференцированный зачет – это форма оценки знаний, полученных обучающимся при изучении дисциплины, при выполнении курсовых проектов, курсовых работ, научно-исследовательских работ и прохождении практик с аттестационной оценкой «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Промежуточная аттестация проводится в формате тестирования в системе дистанционного обучения ГУАП lms.guap.ru в компьютерном классе ГУАП, оснащённом соответствующим оборудованием и программным обеспечением. Тестирование содержит 20 случайных вопросов, время выполнения тестирования – 15 минут. В случае сдачи всех лабораторных и практических работ в семестре на положительную оценку применяется шкала оценивания тестирования согласно критериям оценки уровня сформированности компетенций (табл. 14). В случае, если не выполнены лабораторные и практические работы в семестре, на дифференцированном зачете и экзамене студент не может получить оценку выше, чем «удовлетворительно».

Лист внесения изменений в рабочую программу дисциплины

Дата внесения изменений и дополнений. Подпись внесшего изменения	Содержание изменений и дополнений	Дата и № протокола заседания кафедры	Подпись зав. кафедрой