**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
(ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента науки и инноваций
_____ В. М. Рулевский
«___» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

# Интеллектуальная силовая электроника

Уровень образования: **высшее образование - подготовка кадров высшей квалификации**
Направление подготовки / специальность: **13.06.01 Электро- и теплотехника**
Направленность (профиль) / специализация: **Силовая электроника**
Форма обучения: **заочная**
Факультет: **ФЭТ, Факультет электронной техники**
Кафедра: **ПрЭ, Кафедра промышленной электроники**
Курс: **2**
Семестр: **3**
Учебный план набора 2015 года

Распределение рабочего времени

| № | Виды учебной деятельности | 3 семестр | Всего | Единицы |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Лекции | 10 | 10 | часов |
| 2 | Практические занятия | 6 | 6 | часов |
| 3 | Всего аудиторных занятий | 16 | 16 | часов |
| 4 | Самостоятельная работа | 160 | 160 | часов |
| 5 | Всего (без экзамена) | 176 | 176 | часов |
| 6 | Общая трудоемкость | 176 | 176 | часов |
| | | | 5.0 | З.Е. |

Дифференцированный зачет: 3 семестр

Томск 2018

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Шелупанов А.А.
Должность: Ректор
Дата подписания: 24.06.2015
Уникальный программный ключ:
c53e145e-8b20-45aa-9347-a5e4dbb90e8d

Согласована на портале № 42567

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 1 от « 2 » 7 2018 г.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа дисциплины составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 13.06.01 Электро- и теплотехника, утвержденного 30.07.2014 года, рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ПрЭ «___» _____ 20__ года, протокол №_____.

Разработчик:

| | | |
|---|---|---|
| зав.кафедрой, профессор кафедра промышленной электроники (ПрЭ) | _____ | С. Г. Михальченко |
| Заведующий обеспечивающей каф. ПрЭ | _____ | С. Г. Михальченко |

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

| | | |
|---|---|---|
| Декан ФЭТ | _____ | А. И. Воронин |
| Заведующий выпускающей каф. ПрЭ | _____ | С. Г. Михальченко |

Эксперты:

| | | |
|---|---|---|
| Заведующий аспирантурой | _____ | Т. Ю. Коротина |
| Профессор кафедры промышленной электроники (ПрЭ) | _____ | Н. С. Легостаев |

Согласована на портале № 42567

## 1. Цели и задачи дисциплины

### 1.1. Цели дисциплины

Интеллектуальная силовая электроника (ИСЭ) - область науки, изучающая способы управления, принципы построения и методы программирования управляющих микроконтроллеров для преобразователей параметров электрической энергии на основе транзисторных и тиристорных ключей, а также локальных микроконтроллеров автоматизации технологических систем и комплексов, включая регулируемый электропривод.

В наиболее общем случае управление элементами силовой электроники может осуществляться аналоговыми системами управления (аналоговыми ШИМ-контроллерами), или строиться с прямым цифровым управлением. Как правило, аналоговые или цифровые контроллеры имеют прямую связь с источником и обратную связь с потребителем энергии. Это позволяет им реализовывать алгоритмы управления с обратной связью и адаптироваться к параметрам источника энергии. Системы с прямым цифровым управлением включают элементы памяти, что и определяет их коренное преимущество перед аналоговыми системами управления. Использование в качестве контроллера электрической системы микроконтроллера (МК) смешанного сигнала или DSP- процессора позволяет уже сегодня реализовать высокоэффективные алгоритмы управления энергетическим процессором в различных режимах.

В этой связи преподавание настоящей дисциплины направлено на приобретение знаний, необходимых для понимания принципов построения и функционирования DSP-процессоров, основных методов программирования и изучение алгоритмов управления потоками электрической энергии в различных режимах и технологических процессах, а также приобретение практических навыков и умений, необходимых для программирования и настройки программ управления различными преобразователями.

### 1.2. Задачи дисциплины

– приобретение аспирантами знаний необходимых для понимания принципов построения и функционирования DSP-процессоров, основных методов их программирования;

– изучение алгоритмов управления потоками электрической энергии в различных режимах функционирования и технологических процессах;

– приобретение практических навыков и умений, необходимых для программирования и настройки программ управления различными преобразователями;

– изучение современной элементной базы интеллектуальной силовой электроники и ее применение в различных преобразователях электрической энергии.

– Предметом изучения являются цифровые системы управления различными силовыми преобразователями на DSP-процессорах, принципы построения и основные методы их программирования, а также современная элементная база интеллектуальной силовой электроники и возможности ее применения в конкретных цифровых системах управления преобразователями электрической энергии.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Интеллектуальная силовая электроника» (Б1.В.ДВ.1.2) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Математическое моделирование силовых преобразователей.

Последующими дисциплинами являются: Научно-исследовательская деятельность (рассред.), Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена, Представление научного доклада об основных результатах подготовленной научно-квалификационной работы (диссертации), Силовая электроника.

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– ПК-4 владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области цифровых систем управления электроэнергетическими потоками;

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

– **знать** принципы построения, методы анализа и синтеза цифровых систем управления

Согласована на портале № 42567

устройствами силовой электроники, современную элементную базу, расчет и выбор электрических параметров периферийных элементов систем автоматического управления при заданных условиях эксплуатации

– **уметь** программировать DSP-процессоры, анализировать электромагнитные процессы в преобразователях с прямым цифровым управлением при различном характере возмущающих воздействий, рассчитывать характеристики и показатели цифровых корректирующих устройств, и их взаимосвязь с импульсными методами преобразования параметров электрической энергии

– **владеть** практическими навыками проектирования печатных плат, топологией земляных полигонов с повышенной помехоустойчивостью.

## 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

| Виды учебной деятельности | Всего часов | Семестры |
|---|---|---|
| | | 3 семестр |
| Аудиторные занятия (всего) | 16 | 16 |
| Лекции | 10 | 10 |
| Практические занятия | 6 | 6 |
| Самостоятельная работа (всего) | 160 | 160 |
| Проработка лекционного материала | 86 | 86 |
| Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 74 | 74 |
| Всего (без экзамена) | 176 | 176 |
| Общая трудоемкость, ч | 176 | 176 |
| Зачетные Единицы | 5.0 | |

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Разделы дисциплины и виды занятий приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы дисциплины и виды занятий

| Названия разделов дисциплины | Лек., ч | Прак. зан., ч | Сам. раб., ч | Всего часов (без экзамена) | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|---|---|
| 3 семестр | | | | | |
| 1 Основные элементы цифровой системы управления | 1 | 1 | 26 | 28 | ПК-4 |
| 2 Обзор современных семейств микропроцессоров | 1 | 1 | 24 | 26 | ПК-4 |
| 3 Импульсная модуляция | 2 | 1 | 24 | 27 | ПК-4 |
| 4 Аналого-цифровое преобразование | 2 | 1 | 38 | 41 | ПК-4 |
| 5 Силовой преобразователь как объект управления | 2 | 1 | 24 | 27 | ПК-4 |
| 6 Электромагнитные свойства силовых преобразователей | 2 | 1 | 24 | 27 | ПК-4 |
| Итого за семестр | 10 | 6 | 160 | 176 | |

Согласована на портале № 42567

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Итого | 10 | 6 | 160 | 176 | |

### 5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

Содержание разделов дисциплин (по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов дисциплин (по лекциям)

| Названия разделов | Содержание разделов дисциплины (по лекциям) | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| 3 семестр | | | |
| 1 Основные элементы цифровой системы управления | Общие положения. Основные элементы цифровой системы управления. Принципиальные отличия цифровой системы управления от аналоговой. Организация цифрового ПИД-регулятора. Звено запаздывания сигнала. Устойчивость цифровых систем управления и особенности настройки контура управления. | 1 | ПК-4 |
| | Итого | 1 | |
| 2 Обзор современных семейств микропроцессоров | Обзор современных семейств микропроцессоров. Параметры, важные для построения систем цифрового управления преобразовательной техникой. Основные периферийные компоненты микропроцессоров. Технические требования к компонентам микропроцессоров с точки зрения прямого цифрового управления. Критерии выбора. Обзор наиболее подходящих типов микропроцессоров и производителей. | 1 | ПК-4 |
| | Итого | 1 | |
| 3 Импульсная модуляция | Классификация импульсно-модуляционных систем. Исследование типичного ШИМ-модуля, входящего в состав микропроцессора. Структура, принцип действия, составные части. Особенности применения. Примеры реализации: Электропривод трёхфазный, двухфазный, многоканальные понижающие и повышающие преобразователи, инвертор с мягкой коммутацией. Реализация аппаратной защиты по максимальному току. | 2 | ПК-4 |
| | Итого | 2 | |
| 4 Аналого-цифровое преобразование | Классификация АЦП. Обзор типичного модуля аналого-цифрового преобразователя, входящего в состав микропроцессора. Структура, принцип действия, составные части. Особенности применения. Фильтрация сигналов, постоянные времени фильтров. Точность измерения, Способы повышения точности. Требования к скорости преобразования. Внешние АЦП. | 2 | ПК-4 |
| | Итого | 2 | |

Согласована на портале № 42567

| | | | |
|---|---|---|---|
| 5 Силовой преобразователь как объект управления | Характеристика силового преобразователя как объекта управления. Паразитные параметры полупроводниковых и пассивных компонентов. Источники электромагнитного излучения. Рекомендации по уменьшению излучаемых помех при конструировании силовых преобразователей. | 2 | ПК-4 |
| | Итого | 2 | |
| 6 Электромагнитные свойства силовых преобразователей | Помехоустойчивость систем управления мощными силовыми преобразователями. Меры борьбы с ЭМИ. Рекомендации по конструированию. Требования к печатным платам. Топология земляных полигонов. Контроль важных паразитных параметров компонентов. | 2 | ПК-4 |
| | Итого | 2 | |
| Итого за семестр | | 10 | |

### 5.3. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Разделы дисциплины и междисциплинарные связи

| Наименование дисциплин | № разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих и обеспечиваемых дисциплин | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Предшествующие дисциплины | | | | | | |
| 1 Математическое моделирование силовых преобразователей | + | | + | + | + | |
| Последующие дисциплины | | | | | | |
| 1 Научно-исследовательская деятельность (рассред.) | + | + | + | + | + | + |
| 2 Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена | + | + | + | + | + | + |
| 3 Представление научного доклада об основных результатах подготовленной научно-квалификационной работы (диссертации) | + | + | + | + | + | + |
| 4 Силовая электроника | + | + | + | + | + | + |

### 5.4. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий представлено в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

| Компетенции | Виды занятий | | | Формы контроля |
|---|---|---|---|---|
| | Лек. | Прак. зан. | Сам. раб. | |

Согласована на портале № 42567

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ПК-4 | + | + | + | Отчет по индивидуальному заданию, Опрос на занятиях, Тест, Отчет по практическому занятию |

## 6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Не предусмотрено РУП.

## 7. Лабораторные работы

Не предусмотрено РУП.

## 8. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Наименование практических занятий (семинаров)

| Названия разделов | Наименование практических занятий (семинаров) | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| 3 семестр | | | |
| 1 Основные элементы цифровой системы управления | Программирование DSP-процессора Texas Instruments TMS320F2806 для управления силовым DC/DC преобразователем. | 1 | ПК-4 |
| | Итого | 1 | |
| 2 Обзор современных семейств микропроцессоров | Программирование DSP-процессоры Texas Instruments TMS320F28027 (Piccolo) для управления трехфазным инвертором. | 1 | ПК-4 |
| | Итого | 1 | |
| 3 Импульсная модуляция | Проверка программного обеспечения с помощью отладочных средств. Настройка каналов АЦП для реализации обратной связи замкнутой системы управления. Настройка ШИМ-регистров для создания импульсной системы управления энергетическими потоками преобразователя | 1 | ПК-4 |
| | Итого | 1 | |
| 4 Аналого-цифровое преобразование | Проектирование и синтез принципиальной схемы DC/DC преобразователя с помощью САПР. Сквозное проектирование печатной платы силового преобразователя с цифровой системой управления. | 1 | ПК-4 |
| | Итого | 1 | |
| 5 Силовой преобразователь как объект управления | Проектирование и синтез принципиальной схемы однофазного инвертора. Сквозное проектирование и разводка печатной платы силовым преобразователем с цифровым управлением. Разработка конструкторской документации (КД) на преобразователь и программной документации (ПД) для МПСУ преобразователем | 1 | ПК-4 |
| | Итого | 1 | |
| 6 Электромагнитные свойства силовых | Проектирование и синтез принципиальной схемы трехфазного инвертора. Сквозное | 1 | ПК-4 |

Согласована на портале № 42567

| | | | |
|---|---|---|---|
| преобразователей | проектирование и разводка печатной платы силовым преобразователем с цифровым управлением. Разработка конструкторской документации (КД) на преобразователь и программной документации (ПД) для МПСУ трехфазным преобразователем | | |
| | Итого | 1 | |
| Итого за семестр | | 6 | |

## 9. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

| Названия разделов | Виды самостоятельной работы | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции | Формы контроля |
|---|---|---|---|---|
| 3 семестр | | | | |
| 1 Основные элементы цифровой системы управления | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 14 | ПК-4 | Опрос на занятиях, Отчет по индивидуальному заданию, Тест |
| | Проработка лекционного материала | 12 | | |
| | Итого | 26 | | |
| 2 Обзор современных семейств микропроцессоров | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 12 | ПК-4 | Опрос на занятиях, Отчет по индивидуальному заданию, Тест |
| | Проработка лекционного материала | 12 | | |
| | Итого | 24 | | |
| 3 Импульсная модуляция | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 12 | ПК-4 | Опрос на занятиях, Отчет по индивидуальному заданию, Тест |
| | Проработка лекционного материала | 12 | | |
| | Итого | 24 | | |
| 4 Аналого-цифровое преобразование | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 12 | ПК-4 | Опрос на занятиях, Отчет по индивидуальному заданию, Тест |
| | Проработка лекционного материала | 26 | | |
| | Итого | 38 | | |
| 5 Силовой преобразователь как объект управления | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 12 | ПК-4 | Опрос на занятиях, Отчет по индивидуальному заданию, Тест |
| | Проработка лекционного материала | 12 | | |
| | Итого | 24 | | |

Согласована на портале № 42567

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 6 Электромагнитные свойства силовых преобразователей | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 12 | ПК-4 | Опрос на занятиях, Отчет по индивидуальному заданию, Тест |
| | Проработка лекционного материала | 12 | | |
| | Итого | 24 | | |
| Итого за семестр | | 160 | | |
| Итого | | 160 | | |

## 10. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено РУП.

## 11. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

Рейтинговая система не используется.

## 12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 12.1. Основная литература

1. Иванчура, В. И. Быстродействующие импульсные стабилизаторы напряжения [Электронный ресурс] [Электронный ресурс]: монография / В. И. Иванчура, Д. В. Капулин, Ю. В. Краснобаев. - Красноярск Сиб. федер. ун-т, 2011. - 172 с. - ISBN 978-5-7638-2317-2. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=441448 (дата обращения: 10.08.2018).

2. Энергетическая электроника [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Семенов В. Д., Коновалов Б. И., Кобзев А. В. - 2010. 164 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/810 (дата обращения: 10.08.2018).

3. Микропроцессорные устройства и системы [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Русанов В. В., Шевелев М. Ю. - 2012. 184 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/867 (дата обращения: 10.08.2018).

4. Основы микропроцессорной техники [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Шарапов А. В. - 2008. 240 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/834 (дата обращения: 10.08.2018).

### 12.2. Дополнительная литература

1. Учебное пособие [Электронный ресурс]: "Магнитные элементы электронных устройств" / Легостаев Н. С. - 2014. 186 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/4272 (дата обращения: 10.08.2018).

2. Спектры и анализ [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Татаринов С. А., Татаринов В. Н. - 2012. 323 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/1490 (дата обращения: 10.08.2018).

3. Электромагнитная совместимость РЭС [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Козлов В. Г. - 2012. 147 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/1277 (дата обращения: 10.08.2018).

4. Наноэлектроника [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Дробот П. Н. - 2016. 286 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/6436 (дата обращения: 10.08.2018).

5. Шарапов А.В. Микропроцессорные устройства и системы : учебное пособие / А. В. Шарапов ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - Томск : ТМЦДО, 2008. - 152 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 18 экз.)

6. Воронин, Павел Анатольевич. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение / П. А. Воронин. - 2-е изд. - М. : ДОДЭКА-XXI, 2005. - 380[4] с. : ил. - Библиогр.: с. 374-379. - ISBN 5-94120-087-0 : 143.08 р. (наличие в библиотеке ТУСУР - 16 экз.)

7. Сукер, Кит. Силовая электроника. Руководство разработчика : Пер. с англ. / К. Сукер ; пер. : А. Н. Рабодзея. - М. : Додэка-XXI, 2007. - 251[5] с. : ил., табл. - (Силовая электроника). - Предм. указ.: с. 247-251. - ISBN 978-5-94120-173-0 : 192.00 р. (наличие в библиотеке ТУСУР - 16 экз.)

Согласована на портале № 42567

8. Саликаев, Ю. Р. Математические модели и САПР электронных приборов и устройств. Конспект лекций : учебное пособие / Ю. Р. Саликаев ; Министерство образования Российской Федерации, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск : ТУСУР, 2007. - 165 с. : ил. (наличие в библиотеке ТУСУР - 97 экз.)

9. Микропроцессорные системы [Текст] : Учебное пособие для вузов / В. Я. Хартов. - М.: Академия, 2010. - 352 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 16 экз.)

10. Основы микропроцессорной техники: учебное пособие / Ю. В. Новиков, П. К. Скоробогатов. - М.: Интернет-Университет Информационных Технологий, 2012 ; М. : БИНОМ, 2012. - 358 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 10 экз.)

11. Микропроцессорные системы : Учебное пособие для вузов / Е. К. Александров [и др.]; ред. Д. В. Пузанков. - СПб. : Политехника, 2002. - 934, [2] с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 8 экз.)

12. Программы для микропроцессоров: Справочное пособие / А. Л. Гуртовцев, С. В. Гудыменко. - Минск: Высшая школа, 1989. - 352 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 38 экз.)

13. Рождественский Д. А. Микропроцессорные устройства в системах управления : учебное пособие / Д. А. Рождественский ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра компьютерных систем в управлении и проектировании. - Томск : ТУСУР, 2007 [2006]. - 174 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 32 экз.)

14. Микропроцессоры : учебник для вузов: В 3 кн. / Ред. Л. Н. Преснухин. - Минск : Вышэйшая школа, 1987 - Кн. 3 : Средства отладки : Лабораторный практикум и задачник: Учебник для втузов / Николай Васильевич Воробьев, Владимир Леонидович Горбунов, Александр Васильевич Горячев и др. - Минск : Вышэйшая школа, 1987. - 288 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 77 экз.)

15. Воробьева Г. С. Аппаратные и программные средства для обмена информацией в стандарте RS-232C между IBM PC и микроконтроллерами семейств PIC, AVR, MCS-51 : учебное методическое пособие / Г. С. Воробьева, В. В. Яковлев, А. И. Солдатов ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных систем. - Томск : ТМЦДО, 2007. - 119 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 100 экз.)

16. Селяев А.Н. Электромагнитная совместимость устройств промышленной электроники [Электронный ресурс]: Учебное пособие. — Томск Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2011. — 245 с. - Режим доступа: http://ie.tusur.ru/docs/sva/ems.rar (дата обращения: 10.08.2018).

17. Кобзев А.В., Михальченко Г.Я., Дякин А.С., Семенов В.Д. Импульсно-модуляционные системы [Электронный ресурс]: Учебное пособие. Изд. 2-е, испр. и доп. — Томск Томский государственный университет си-стем управления и радиоэлектроники, 2015. — 193 с. - Режим доступа: http://ie.tusur.ru/docs/svd/ims.rar (дата обращения: 10.08.2018).

18. Техника высоких напряжений [Электронный ресурс]: Учебник / Важов В.Ф., Лавринович В.А. - М.НИЦ ИНФРА-М, 2017. - 256 с. 60x90 1/16. ISBN 978-5-16-010565-9. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=561018 (дата обращения: 10.08.2018).

19. Моделирование процессов управления в интеллектуальных измерительных системах / Капля Е.В., Кузеванов В.С., Шевчук В.П. - М. [Электронный ресурс]: Физматлит, 2009. - 512 с. ISBN 978-5-9221-1131-7. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=544737 (дата обращения: 10.08.2018).

20. Системы реального времени [Электронный ресурс]: технические и программные средства Учебное пособие / Древс Ю.Г. - М.НИЯУ "МИФИ", 2010. - 230 с. ISBN 978-5-7262-1310-1. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=560589 (дата обращения: 10.08.2018).

21. Москаленко, В.В. Электрический привод [Электронный ресурс]: Учебник / В.В. Москаленко. − М. ИНФРА-М, 2015. – 364 с. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=443646 (дата обращения: 10.08.2018).

22. Онищенко, Г.Б. Теория электропривода [Электронный ресурс]: Учебник / Г.Б. Онищенко. – М. ИНФРА-М, 2015. – 294 с. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=452841 (дата обращения: 10.08.2018).

Согласована на портале № 42567

### 12.3. Учебно-методические пособия

#### 12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Микропроцессорные устройства и системы [Электронный ресурс]: Руководство к организации самостоятельной работы / Русанов В. В., Шевелев М. Ю. - 2012. 91 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/866 (дата обращения: 10.08.2018).
2. Электропитание ЭВМ [Электронный ресурс]: Исследование системы стабилизации напряжения на основе однотактного обратноходового преобразователя / Семенов В. Д., Русанов В. В., Коновалов Б. И., Мишуров В. С. - 2015. 21 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/5775 (дата обращения: 10.08.2018).
3. Электропитание ЭВМ [Электронный ресурс]: Исследование системы стабилизации напряжения на основе однотактного прямоходового преобразователя / Русанов В. В., Семенов В. Д., Мишуров В. С., Коновалов Б. И. - 2015. 24 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/5771 (дата обращения: 10.08.2018).
4. Энергетическая электроника [Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие / Семенов В. Д., Мишуров В. С. - 2007. 174 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/812 (дата обращения: 10.08.2018).
5. Теория электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств и систем [Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие по практическим, лабораторным и самостоятельным занятиям / Куксенко С. П. - 2016. 72 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/6528 (дата обращения: 10.08.2018).
6. Интеллектуальная силовая электроника. Учебно-методическое пособие для проведения практических занятий и самостоятельной работы // С. Г. Михальченко; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра промышленной электроники – Томск [Электронный ресурс]: ТУСУР, 2018. – 23 с. - Режим доступа: http://ie.tusur.ru/docs/msg/ise_ump.pdf (дата обращения: 10.08.2018).

#### 12.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

**Для лиц с нарушениями зрения:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

### 12.4. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. https://ieeexplore.ieee.org
2. https://elibrary.ru/defaultx.asp
3. http://protect.gost.ru/
4. https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh
5. http://www.microchip.com/
6. https://www.nxp.com
7. https://www.freescale.com
8. https://www.silabs.com
9. https://www.st.com/
10. http://www.ti.com

### 12.5. Периодические издания

1. IEEE Transactions on Power Electronics / ISSN [Электронный ресурс]: 0885-8993 /

Согласована на портале № 42567

Published by IEEE Power Electronics Society - Режим доступа: https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=63 (дата обращения: 10.08.2018).

2. IEEE Transactions on Industrial Electronics / ISSN [Электронный ресурс]: 0278-0046 / Published by IEEE Industrial Electronics Society - Режим доступа: https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=41 (дата обращения: 10.08.2018).

## 13. Материально-техническое обеспечение дисциплины и требуемое программное обеспечение

### 13.1. Общие требования к материально-техническому и программному обеспечению дисциплины

#### 13.1.1. Материально-техническое и программное обеспечение для лекционных занятий

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с количеством посадочных мест не менее 22-24, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются демонстрационное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

#### 13.1.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий

Лаборатория импульсных систем и преобразовательной техники / Лаборатория ГПО

учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для курсового проектирования (выполнения курсовых работ)

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 320 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Персональные компьютеры (15 шт.);
- Цифровой осциллограф DSO 3062A (10 шт.);
- Осциллограф АСК 1021 (6 шт.);
- Интерактивная доска – «Smart-board» DViT;
- Учебный лабораторный комплекс «Силовая электроника»;
- Лабораторные стенды: "Для исследования однофазных выпрямителей и фильтров" (3 шт.), "Для исследования звена повышенной частоты" (3 шт.), "Для исследования инвертора напряжения" (13 шт.), "Для исследования инвертора тока" (3 шт.), "Для исследования НПН" (13 шт.), "Для исследования источников питания" (13 шт.), "Для исследования трехфазных выпрямителей" (3 шт.), "Для исследования УЭЭ с импульсной модуляцией" (13 шт.);
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- ASIMEC
- AVR Code Vision 3.31Evaluation
- Far Manager
- Google Chrome
- LTspice 4
- LibreOffice
- Mathworks Matlab
- PTC Mathcad13, 14
- Visual Studio
- Windows XP

#### 13.1.3. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:

- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 233 ауд.;

Согласована на портале № 42567

- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 201 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Состав оборудования:
- учебная мебель;
- компьютеры класса не ниже ПЭВМ INTEL Celeron D336 2.8ГГц. - 5 шт.;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень программного обеспечения:
- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

### 13.2. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями зрениями** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для комфортного просмотра.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

## 14. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

### 14.1. Содержание оценочных материалов и методические рекомендации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы в составе:

#### 14.1.1. Тестовые задания

1. Соотношение между коэффициентами передачи тока эмиттера «KIe» и коэффициент передачи тока базы «KIb» для схемы транзистора с «ОБ»

1) 1-KIe=KIb/(1+KIb)
2) KIb*KIe=KIb/(1+KIb)
3) KIb= KIe /(1- KIe)
4) KIb=KIe/(1+KIe)
5) KIe=KIb/(1+KIb)

2. Если отказ любого из элементов системы приводит к отказу всей системы, то элементы соединены:

1) последовательно;
2) параллельно;
3) последовательно и параллельно;
4) не соединены.

Согласована на портале № 42567

3. С помощью чего микропроцессор координирует работу всех устройств цифровой системы?

1) с помощью шины данных;
2) с помощью шины адреса;
3) с помощью шины управления;
4) с помощью постоянного запоминающего устройства (ПЗУ).

4. Компаратор служит для определения

1) Моментов равенства двух напряжений
2) Степени запаздывания одного сигнала относительно другого
3) Разности двух напряжений
4) Суммирования двух сигналов

5. Широтно-импульсная модуляция, это…

1) изменение фазы сигнала с помощью модулируемого сигнала;
2) изменение амплитуды сигнала с помощью модулируемого сигнала;
3) изменение ширины импульса с помощью обратной связи;
4) изменение частоты с помощью амплитуды сигнала.

6. Что является структурным элементом формата любой команды МПС?

1) Регистр;
2) Адрес ячейки;
3) Операнд;
4) Код операции (КОП).

7. Выражения для коэффициентов усиления схемы «ОК»

1) $ki > 1$, $ku \leq 1$, $kp > 1$
2) $ki \geq 1$, $ku \geq 1$, $kp \geq 1$
3) $ki < 1$, $ku > 1$, $kp > 1$
4) $ki \leq 1$, $ku > 1$, $kp \leq 1$
5) $ki = 1$, $ku > 1$, $kp > 1$

8. Крутизна вольт-амперной характеристики является основным параметром:

1) биполярного транзистора;
2) диода;
3) полевого транзистора;
4) катушки индуктивности.

9. Одним из способов обмена памяти к внешним устройствам является:

1) Режим прямого доступа к памяти;
2) Режим формирования сигналов прерываний в памяти;
3) Режим программного управления памятью;
4) Режим обслуживания памяти.

10. Возможна ли ситуация, когда на одном периоде ШИМ существует два изменяющихся фронта импульса?

1) Да
2) Нет
3) Только при изменении частоты
4) Только при изменении амплитуды

11. Мостовой выпрямитель является:

1) двухполупериодным;
2) однополупериодным;
3) выпрямителем с удвоением напряжения;
4) цифровым устройством.

12. Чем характеризуется МП?

1) Режимом кодирования памяти;
2) Вводом\Выводом;
3) Тактовой частотой, Разрядностью.
4) Логическим управлением.

13. Англоязычная аббревиатура ZCS обозначает

Согласована на портале № 42567

1) Мягкая коммутация с переключением транзистора при нулевом токе

2) Мягкая коммутация с переключением транзистора при нулевом напряжении

3) Мягкая коммутация с переключением транзистора при нулевой мощности.

14. Цифровые и аналоговые инверторы это устройства изменяющие фазу напряжения на:

1) 90 градусов;

2) 180 градусов;

3) 270 градусов;

4) 45 градусов.

15. В общем случае под Архитектурой ЭВМ понимается ….

1) абстрактное представление машины в терминах основных функциональных модулей языка ЭВМ, структуры данных;

2) микропроцессоры включающие в себя систему команд во времени, наличии дополнительных устройств в составе микропроцессора принципы и режимы ЭВМ;

3) только одна программа;

4) абстрактные операции ЭВМ которые имеют одинаковый интерфейс и подключены к единой информационной магистрали.

16. В какой из трех схем включения (ОБ, ОЭ, ОК) биполярный транзистор обладает наибольшим коэффициентом усиления по мощности?

1) ОК

2) ОБ

3) ОЭ

4) ОЭ и ОК одинаково

5) ОЭ и ОБ одинаково

17. Скважностью называют:

1) отношение периода импульса к длительности импульса;

2) отношение длительности импульса к периоду;

3) отношение периода импульса к длительности паузы;

4) отношение длительности импульса к длительности паузы.

18. В микропроцессорах используют два метода выработки совокупности функциональных управляющих сигналов:

1) однокристальный и многокристальный;

2) функциональный и тактовый;

3) программный и микропрограммный;

4) универсальный и цифровой.

19. Какая схема биполярного транзистора обладает лучшими термостабилизирующими свойствами

1) ОБ

2) ОЭ

3) ОК

4) ОК, ОЭ

5) ОЭ, ОБ

20. Включение пускового конденсатора последовательно с пусковой обмоткой в электрической машине приводит:

1) к уменьшению сдвига фаз и увеличению пускового крутящего момента;

2) к увеличению сдвига фаз и увеличению пускового крутящего момента;

3) к увеличению сдвига фаз и уменьшению пускового крутящего момента;

4) к уменьшению сдвига фаз и уменьшению пускового крутящего момента.

### 14.1.2. Темы опросов на занятиях

Общие положения. Основные элементы цифровой системы управления. Принципиальные отличия цифровой системы управления от аналоговой. Организация цифрового ПИД-регулятора. Звено запаздывания сигнала. Устойчивость цифровых систем управления и особенности настройки контура управления.

Обзор современных семейств микропроцессоров. Параметры, важные для построения систем цифрового управления преобразовательной техникой. Основные периферийные компоненты

Согласована на портале № 42567

микропроцессоров. Технические требования к компонентам микропроцессоров с точки зрения прямого цифрового управления. Критерии выбора. Обзор наиболее подходящих типов микропроцессоров и производителей.

Классификация импульсно-модуляционных систем. Исследование типичного ШИМ-модуля, входящего в состав микропроцессора. Структура, принцип действия, составные части. Особенности применения. Примеры реализации: Электропривод трёхфазный, двухфазный, многоканальные понижающие и повышающие преобразователи, инвертор с мягкой коммутацией. Реализация аппаратной защиты по максимальному току.

Классификация АЦП. Обзор типичного модуля аналого-цифрового преобразователя, входящего в состав микропроцессора. Структура, принцип действия, составные части. Особенности применения. Фильтрация сигналов, постоянные времени фильтров. Точность измерения, Способы повышения точности. Требования к скорости преобразования. Внешние АЦП.

Характеристика силового преобразователя как объекта управления. Паразитные параметры полупроводниковых и пассивных компонентов. Источники электромагнитного излучения. Рекомендации по уменьшению излучаемых помех при конструировании силовых преобразователей.

Помехоустойчивость систем управления мощными силовыми преобразователями. Меры борьбы с ЭМИ. Рекомендации по конструированию. Требования к печатным платам. Топология земляных полигонов. Контроль важных паразитных параметров компонентов.

### 14.1.3. Темы индивидуальных заданий

• Разработать алгоритм цифрового ПИД-регулятора на базе заданного микроконтроллера.

• Провести исследование устойчивости цифровой системы управления с заданным контуром обратной связи.

• Выписать таблицу параметров, влияющих на построение систем цифрового управления преобразовательной техникой.

• Перечислить основные периферийные компоненты микропроцессоров, протоколы подключения, функции, особенности программной реализации.

• Составить таблицу технических требований к компонентам микропроцессоров с точки зрения прямого цифрового управления силовыми преобразователями.

• Перечислить методы повышения помехоустойчивости систем управления мощными силовыми преобразователями.

• Реализовать программную настройку ШИМ, входящего в состав микропроцессора с учетом особенностей применения в силовых цепях.

• Разработать схему силовой и управляющей цепей трехфазного электропривода.

• Спроектировать цифровой ШИМ на базе таймер-счетчика микропроцессора: структура, принцип действия, составные части.

• Разработать схему силовой и управляющей цепей двухфазного электропривода.

• Спроектировать многоканальный понижающий преобразователь напряжения.

• Составить структурную схему инвертора с мягкой коммутацией, описать принципы работы системы управления.

• Спроектировать систему аппаратной защиты по максимальному току заданной системы.

• Спроектировать многоканальный повышающий стабилизатор напряжения.

• Составить таблицу классификации АЦП.

• Произвести описание типичного модуля аналого-цифрового преобразователя, входящего в состав микропроцессора: структура, принцип действия, составные части.

• Перечислить особенности применения АЦП в устройствах силовой электроники.

• Составить таблицу параметров АЦП с точки зрения точности измерения, перечислить способы повышения точности.

• Выписать требования к скорости преобразования сигнала в АЦП, указать способы повышения скорости преобразования.

• Разработать схему подключения внешних АЦП, спроектировать программную часть МК.

• Составить таблицу источников электромагнитного излучения в силовой электронике, выписать рекомендации по уменьшению излучаемых помех при конструировании силовых преобразователей.

Согласована на портале № 42567

### 14.1.4. Вопросы для подготовки к практическим занятиям, семинарам

Программирование DSP-процессора Texas Instruments TMS320F2806 для управления силовым DC/DC преобразователем.

Программирование DSP-процессоры Texas Instruments TMS320F28027 (Piccolo) для управления трехфазным инвертором.

Проверка программного обеспечения с помощью отладочных средств. Настройка каналов АЦП для реализации обратной связи замкнутой системы управления. Настройка ШИМ-регистров для создания импульсной системы управления энергетическими потоками преобразователя

Проектирование и синтез принципиальной схемы DC/DC преобразователя с помощью САПР. Сквозное проектирование печатной платы силового преобразователя с цифровой системой управления.

Проектирование и синтез принципиальной схемы однофазного инвертора. Сквозное проектирование и разводка печатной платы силовым преобразователем с цифровым управлением. Разработка конструкторской документации (КД) на преобразователь и программной документации (ПД) для МПСУ преобразователем

Проектирование и синтез принципиальной схемы трехфазного инвертора. Сквозное проектирование и разводка печатной платы силовым преобразователем с цифровым управлением. Разработка конструкторской документации (КД) на преобразователь и программной документации (ПД) для МПСУ трехфазным преобразователем

### 14.1.5. Вопросы дифференцированного зачета

1. Микропроцессорная система – определение, применение в системах управления преобразователями энергии

2. Составные транзисторы – классификация, применение, методы расчета в зависимости от применения (частота и мощность)

3. Области использования микроконтроллера в энергетических системах – привести сравнительную таблицу «характеристика задач – разрядность - производительность»

4. Компараторы напряжения в цепях управления преобразователями, характеристики компараторов, компараторы с положительной обратной связью

5. Классификация современных микропроцессоров по функциональному признаку – применение в силовой электронике

6. Чем обусловлена установка обратных диодов параллельно ключам в 3-фазных инверторах? Как реализуется при этом импульсная модуляция?

7. Записать выражение передаточной функции источника питания для замкнутой системы управления преобразователем.

8. Цифровые сигнальные процессоры. Определение, назначение и область применения.

9. Магистрально-модульную структура микропроцессорной системы управления.

10. Особенности реализации ШИМ (PWM) в различных реализациях подсистем управления реального времени.

11. Типовая структура микропроцессорной системы. Привести схему функциональную.

12. Одноключевые преобразователи параметров электрической энергии – назначение, свойства, отличия.

13. Таймер, его структура и схемы включения. Использование таймера в реализации ШИМ.

14. Приведите пример реализации схемы управления трехфазного инвертора тока. В чем особенности алгоритма управления?

15. Классификация прерываний и исключений. Привести рисунок.

16. Принцип работы и основные свойства «классического» таймера.

17. Принцип работы и основные параметры модуля АЦП. Устройство АЦП последовательного приближения.

18. Коммутаторы аналоговых сигналов для цифро-аналоговых и аналого-цифровых преобразователей.

19. Интерфейсы последовательного ввода\вывода, используемые для связи встраиваемой МП-системы с системой управления верхнего уровня: название и основные характеристики.

20. Алгоритм и функциональная схема АЦП, использующего внешний или встроенный аналоговый компаратор.

Согласована на портале № 42567

21. Интерфейсы последовательного ввода\вывода , используемые для связи с внешними по отношению к МК периферийными интегральными схемами, датчиками физических вели-чин с последовательным выходом: название и основные характеристики.

22. Полумостовой преобразователь параметров электрической энергии. Принцип управления, особенности реализации.

23. Формирование алгоритмов управления драйверами силовых ключей.

24. Проектирование микропроцессорной системы: общее описание процесса, принципы управления силовыми преобразователями.

### 14.2. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 14.

Таблица 14 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

| Категории обучающихся | Виды дополнительных оценочных материалов | Формы контроля и оценки результатов обучения |
|---|---|---|
| С нарушениями слуха | Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы | Преимущественно письменная проверка |
| С нарушениями зрения | Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам | Преимущественно устная проверка (индивидуально) |
| С нарушениями опорно-двигательного аппарата | Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету | Преимущественно дистанционными методами |
| С ограничениями по общемедицинским показаниям | Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы | Преимущественно проверка методами исходя из состояния обучающегося на момент проверки |

### 14.3. Методические рекомендации по оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной форме;
- в печатной форме с увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- методом чтения ассистентом задания вслух;
- предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге;
- набор ответов на компьютере;
- набор ответов с использованием услуг ассистента;
- представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

**Для лиц с нарушениями зрения:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**

Согласована на портале № 42567

– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

При необходимости для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 42567