

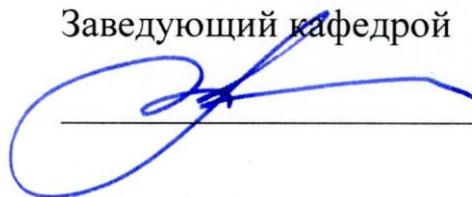
МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тульский государственный университет»

Институт высокоточных систем им. В.П. Грязева  
Кафедра «Системы автоматического управления»

Утверждено на заседании кафедры  
«Системы автоматического управления»  
«13» января 2021 г., протокол № 8

Заведующий кафедрой



О.В.Горячев

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)  
«Электропривод летательных аппаратов»**

**основной профессиональной образовательной программы  
высшего образования – программы бакалавриата**

по направлению подготовки  
**15.03.06 Мехатроника и робототехника**

с направленностью (профилем)  
**Мехатроника**

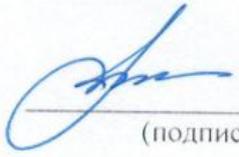
Форма обучения: очная

Идентификационный номер образовательной программы: 150306-01-21

Тула 2021 год

**ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ**  
**рабочей программы дисциплины (модуля)**

Горячев Олег Владимирович, зав. каф. САУ, д.т.н., проф.  
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

## 1 Цель и задачи освоения дисциплины (модуля)

**Целью** освоения дисциплины (модуля) является получение фундаментального образования, способствующего формированию востребованных конкурентоспособных специалистов, а также базового профессионального образования по специальности 15.03.06 в области проектирования и применения систем следящего электропривода.

**Задачами** освоения дисциплины (модуля) являются:

- изучение законов, положений и методов теории электромеханического преобразования энергии;
- изучение существующей элементной базы систем следящего электропривода;
- формирование практических навыков формализации динамических процессов, протекающих в следящем электроприводе и его элементах;
- формирование практических навыков решения задач анализа и синтеза систем следящего электропривода и их элементов с использованием вычислительной техники.

## 2 Место дисциплины (модуля) в структуре основной профессиональной образовательной программы

Дисциплина (модуль) относится к вариативной части основной профессиональной образовательной программы.

Дисциплина (модуль) изучается в 6 и 7 семестрах.

## 3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения основной профессиональной образовательной программы (формируемыми компетенциями), установленными в общей характеристике основной профессиональной образовательной программы, приведён ниже.

В результате освоения дисциплины (модуля) обучающийся должен:

### **Знать:**

- 1) типы электродвигателей и особенности их применения в системах следящего электропривода (код компетенции – ПК-4, код индикатора ПК-4.1);
- 2) основные функциональные элементы и принципы построения систем следящего электропривода (код компетенции – ПК-4, код индикатора ПК-4.1);
- 3) математическое описание, а также статические и динамические характеристики отдельных элементов и следящего электропривода в целом (код компетенции – ПК-4, код индикатора ПК-4.1);
- 4) основные типы приводов используемых в мехатронике и робототехнике (код компетенции – ПК-4, код индикатора ПК-4.1);
- 5) основные виды функциональных схем приводов робота и мехатронного модуля (код компетенции ПК-4, код индикатора ПК-4.1).

### **Уметь:**

- 1) выполнять подбор типа следящего электропривода для заданной мехатронной системы (код компетенции – ПК-4, код индикатора ПК-4.2);
- 2) решать задачи анализа и синтеза систем следящего электропривода и их элементов с использованием вычислительной техники (код компетенции – ПК-4, код индикатора ПК-4.2);

3) выполнять расчеты и проектирование отдельных устройств и подсистем мехатронных систем (код компетенции – ПК-4, код индикатора ПК-4.2).

#### **Владеть:**

1) теоретическими и экспериментальными методами исследования следящих электроприводов мехатронных систем (код компетенции – ПК-4, код индикатора ПК-4.3);

2) методами конструирования следящих электроприводов мехатронных систем (код компетенции – ПК-4, код индикатора ПК-4.3);

3) оценивать при лабораторных и натурных испытаниях результаты аналитического конструирования (код компетенции – ПК-4, код индикатора ПК-4.3).

Полные наименования компетенций представлены в общей характеристике основной профессиональной образовательной программы.

## **4 Объем и содержание дисциплины (модуля)**

**4.1 Объем дисциплины (модуля), объем контактной и самостоятельной работы обучающегося при освоении дисциплины (модуля), формы промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

| Номер семестра       | Формы промежуточной аттестации | Общий объем в зачетных единицах | Общий объем в академических часах | Объем контактной работы в академических часах |                                    |                     |                                  |              |                          | Объем самостоятельной работы в академических часах |
|----------------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---|------------------------------------|---------------------|----------------------------------|--------------|--------------------------|--|
|                      |                                |                                 |                                   | Лекционные занятия                            | Практические (семинарские) занятия | Лабораторные работы | Клинические практические занятия | Консультации | Промежуточная аттестация |  |
| Очная форма обучения |                                |                                 |                                   |   |                                    |                     |                                  |              |                          |  |
| 6                    | ЗЧ                             | 3                               | 108                               | 32  |                                    | 16                  | -                                | -            | 0,1                      | 59,9   |
| 7                    | КП, Э                          | 3                               | 108                               | 28  |                                    | 14                  | -                                | 4,5          | 0,5                      | 61   |
| Итого                | -                              | 6                               | 216                               | 60  |                                    | 30                  | -                                | 4,5          | 0,6                      | 120,9  |

Условные сокращения: Э – экзамен, ЗЧ – зачет, ДЗ – дифференцированный зачет (зачет с оценкой), КП – защита курсового проекта, КР – защита курсовой работы.

## **4.2 Содержание лекционных занятий**

### **Очная форма обучения**

| № п/п            | Темы лекционных занятий   |
|------------------|---|
| <b>6 семестр</b> |   |
| 1                | Применение электрических приводов в системах управления летательными аппаратами. Принцип действия и блок-схема следящего электропривода |
| 2                | Коллекторный двигатель постоянного тока в электрических приводах летательных аппаратов  |
| 3                | Бесконтактный двигатель постоянного тока Коллекторный двигатель постоянного тока в электрических приводах летательных аппаратов         |

| №<br>п/п         | Темы лекционных занятий  |
|------------------|--|
| 4                | Система «Импульсный усилитель - двигатель постоянного тока с независимым возбуждением» в электрических приводах летательных аппаратов  |
| 5                | Усилительно-преобразовательные устройства следящего электропривода с импульсным управлением в электрических приводах летательных аппаратов   |
| 6                | Система «Тиристорный управляемый выпрямитель-двигатель постоянного тока с независимым возбуждением» в электрических приводах летательных аппаратов   |
| 7                | Статические и динамические характеристики системы «Тиристорный управляемый выпрямитель-двигатель постоянного тока с независимым возбуждением» в электрических приводах летательных аппаратов |
| 8                | Следящий электропривод с электромашинными усилителями и генераторами в электрических приводах летательных аппаратов  |
| <b>7 семестр</b> |  |
| 9                | Асинхронный трехфазный двигатель переменного тока в электрических приводах летательных аппаратов   |
| 10               | Принцип работы основных усилительно-преобразующих электронных элементов следящего электропривода переменного тока в электрических приводах летательных аппаратов                             |
| 11               | Следящий электропривод переменного тока с частотным и частотно-токовым управлением в электрических приводах летательных аппаратов  |
| 12               | Следящий электропривод переменного тока с векторным управлением в приводах в летательных аппаратов   |
| 13               | Сравнительный анализ характеристик приводов переменного и постоянного токов для летательных аппаратов  |
| 14               | Следящий электропривод с асинхронным двухфазным двигателем для летательных аппаратов   |
| 15               | Следящий электропривод с электромагнитными муфтами для летательных аппаратов   |
| 16               | Статические, динамические и энергетические характеристики следящего электропривода с электромагнитными муфтами   |
| 17               | Энергетический анализ объектов регулирования и выбор исполнительных элементов следящего электропривода   |
| 18               | Основные законы движения объектов регулирования в электрических приводах летательных аппаратов   |
| 19               | Определение характера изменения и величины суммарного нагрузочного момента и мощности, потребляемой объектом регулирования в электрических приводах летательных аппаратов                    |
| 20               | Выбор исполнительного элемента по энергетическим характеристикам объекта регулирования в электрических приводах летательных аппаратов  |
| 21               | Определение передаточного числа редуктора и проверка выбранного исполнительного двигателя в электрических приводах летательных аппаратов   |

### 4.3 Содержание практических (семинарских) занятий

Занятия указанного типа не предусмотрены основной профессиональной образовательной программой.

## 4.4 Содержание лабораторных работ

### Очная форма обучения

| № п/п            | Наименования лабораторных работ  |
|------------------|--|
| <b>6 семестр</b> |  |
| 1                | Вводное занятие. Правила техники безопасности  |
| 2                | Анализ динамических характеристик элементов мехатронных систем   |
| 3                | Изучение конструкций механических частей электрических следящих приводов летательных аппаратов   |
| 4                | Изучение принципа действия, конструкции и характеристик бесколлекторного электродвигателя системы электропривода летательного аппарата   |
| 5                | Экспериментальное исследование бесколлекторного электродвигателя системы электропривода летательного аппарата при питании от силового контроллера  |
| 6                | Изучение импульсного способа управления скоростью вращения двигателя постоянного тока системы электропривода летательного аппарата   |
| 7                | Исследование статических характеристик систем «Импульсный усилитель - двигатель постоянного тока с независимым возбуждением» системы электропривода летательного аппарата  |
| 8                | Изучение принципа действия и характеристик реверсивного следящего привода, работающего по системе "Транзисторный импульсный усилитель - двигатель постоянного тока с независимым возбуждением системы электропривода летательного аппарата (виртуальная) |
| <b>7 семестр</b> |  |
| 9                | Изучение энергетических характеристик систем «Импульсный усилитель - двигатель постоянного тока с независимым возбуждением» электропривода летательного аппарата   |
| 10               | Изучение принципа действия и характеристик реверсивного следящего привода, работающего по системе «Транзисторный импульсный усилитель - двигатель постоянного тока с независимым возбуждением» электропривода летательного аппарата                      |
| 11               | Изучение характеристик системы «электромашинный усилитель с поперечным полем - двигатель постоянного тока с независимым возбуждением» электропривода летательного аппарата   |
| 12               | Анализ динамических характеристик элементов мехатронных систем (часть 2)   |
| 13               | Исследование характеристик электрического следящего привода переменного тока летательного аппарата с частотным управлением   |
| 14               | Изучение приводов с электромагнитными муфтами электропривода летательного аппарата   |
| 15               | Проектирование контура управления приводом постоянного тока электропривода летательного аппарата (виртуальная)   |

## 4.5 Содержание клинических практических занятий

Занятия указанного типа не предусмотрены основной профессиональной образовательной программой.

## 4.6 Содержание самостоятельной работы обучающегося

### Очная форма обучения

| № п/п            | Виды и формы самостоятельной работы                    |
|------------------|--|
| <b>6 семестр</b> |  |
| 1                | Подготовка к лабораторным работам                      |
| 2                | Оформление отчётов по лабораторным работам             |
| 3                | Подготовка к промежуточной аттестации и ее прохождение |
| <b>7 семестр</b> |  |
| 4                | Выполнение курсового проекта                           |
| 5                | Подготовка к лабораторным работам                      |
| 6                | Оформление отчётов по лабораторным работам             |
| 7                | Подготовка к промежуточной аттестации и ее прохождение |

\* Если предусмотрено основной профессиональной образовательной программой

## 5 Система формирования оценки результатов обучения по дисциплине (модулю) в рамках текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося

### Очная форма обучения

| Мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося |                          | Максимальное количество баллов                        |    |
|--|--------------------------|---|----|
| <b>6 семестр</b>   |                          |   |    |
| Текущий контроль успеваемости  | Первый рубежный контроль | <b>Оцениваемая учебная деятельность обучающегося:</b> |    |
|  |                          | Посещение лекционных занятий                          | 8  |
|  |                          | Работа на лекционных занятиях                         | 6  |
|  |                          | Выполнение лабораторной работы №1                     | 4  |
|  |                          | Выполнение лабораторной работы №2                     | 4  |
|  |                          | Выполнение лабораторной работы №3                     | 4  |
|  |                          | Выполнение лабораторной работы №4                     | 4  |
|  |                          | Итого   | 30 |
|  | Второй рубежный контроль | <b>Оцениваемая учебная деятельность обучающегося:</b> |    |
|  |                          | Посещение лекционных занятий                          | 8  |
|  |                          | Работа на лекционных занятиях                         | 6  |
|  |                          | Выполнение лабораторной работы №5                     | 4  |
|  |                          | Выполнение лабораторной работы №6                     | 4  |
|  |                          | Выполнение лабораторной работы №7                     | 4  |
| Выполнение лабораторной работы №8  |                          | 4   |    |
| Итого  | 30                       |   |    |
| Промежуточная аттестация   | Зачет                    | 40 (100*)   |    |
| <b>7 семестр</b>   |                          |   |    |
| Текущий контроль успеваемости  | Первый рубежный контроль | <b>Оцениваемая учебная деятельность обучающегося:</b> |    |
|  |                          | Посещение лекционных занятий                          | 14 |
|  |                          | Работа на лекционных занятиях                         | 6  |

| Мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося |                          |   | Максимальное количество баллов |  |
|--|--------------------------|---|--------------------------------|--|
|  |                          | Выполнение лабораторной работы №1                     | 2,5                            |  |
|  |                          | Выполнение лабораторной работы №2                     | 2,5                            |  |
|  |                          | Выполнение лабораторной работы №3                     | 2,5                            |  |
|  |                          | Выполнение лабораторной работы №4                     | 2,5                            |  |
|  |                          | Итого   | 30                             |  |
|  | Второй рубежный контроль | <b>Оцениваемая учебная деятельность обучающегося:</b> |                                |  |
|  |                          | Посещение лекционных занятий                          | 14                             |  |
|  |                          | Работа на лекционных занятиях                         | 10                             |  |
|  |                          | Выполнение лабораторной работы №5                     | 2                              |  |
|  |                          | Выполнение лабораторной работы №6                     | 2                              |  |
|  |                          | Выполнение лабораторной работы №7                     | 2                              |  |
|  |                          | Итого   | 30                             |  |
| Промежуточная аттестация   | Экзамен                  | 40 (100*)   |                                |  |
|  | Защита курсового проекта | 100   |                                |  |

\* В случае отказа обучающегося от результатов текущего контроля успеваемости

### Шкала соответствия оценок в стобалльной и академической системах оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

| Система оценивания результатов обучения  | Оценки              |                   |         |          |
|--|---------------------|-------------------|---------|----------|
|  | 0 – 39              | 40 – 60           | 61 – 80 | 81 – 100 |
| Стобалльная система оценивания   |                     |                   |         |          |
| Академическая система оценивания (экзамен, дифференцированный зачет, защита курсового проекта, защита курсовой работы) | Неудовлетворительно | Удовлетворительно | Хорошо  | Отлично  |
| Академическая система оценивания (зачет)   | Не зачтено          | Зачтено           |         |          |

### 6 Описание материально-технической базы (включая оборудование и технические средства обучения), необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю) требуются:

- мультимедийный класс, оборудованный интерактивной доской, проектором и ПК; (лекционные и практические (семинарские) занятия);
- оборудование «Лаборатории электрических следящих приводов» кафедры САУ, с источниками питания: переменного тока 220В, 50Гц; 36В 400Гц; постоянный ток 27В (лабораторные работы).

Для проведения лабораторных занятий рабочее место преподавателя должно быть оснащено видеопроектором и ноутбуком с установленным набором специализированного программного обеспечения. Рабочие места студентов должны быть оснащены персональными компьютерами с предустановленным программным обеспечением, включающим про-

граммный пакет MATLAB, и программу для проведения тестирования Tester, а также специализированным стендовым оборудованием, включающим:

- стенд «Привод переменного тока ЭА-ПШМ 31-01В7СХЛЧ» – 1 шт.;
- стенд «Бесконтактный двигатель постоянного тока (БДПТ) – 2 шт.;
- стенд для снятия статических характеристик систем импульсный усилитель - двигатель «СТХ-3» – 1 шт.;
- стенд для снятия энергетических характеристик систем импульсный усилитель - двигатель «СТХ-3Э» – 2шт.
- стенд «ЭМУ-Д (Исследование функционирования и динамических характеристик системы «электромашинный усилитель с поперечным полем - двигатель постоянного тока с независимым управлением» – 1 шт.;
- стенд «ЭСП (Исследование функционирования и динамических характеристик системы «импульсный усилитель - двигатель постоянного тока с независимым управлением» – 1 шт.;
- стенд «ИИСУ-ДПТ (Исследование импульсного метода управления двигателем постоянного тока» – 1 шт..

## **7 Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

### **7.1 Основная литература**

1. Елецкая, Галина Павловна. Электромеханические устройства мехатронных систем : учеб. пособие / Г. П. Елецкая, Н. С. Илюхина, А. П. Панков ; ТулГУ .— Тула : Изд-во ТулГУ, 2018 .— 224 с.

2. Епифанов, А. П. Основы электропривода : учебное пособие / А. П. Епифанов. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 192 с. — ISBN 978-5-8114-0770-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/167740> (вход по учётной записи)

3. Кириллов А.А. Основы электропривода летательных аппаратов: Учебное пособие для вузов. – Москва: Библио-глобус, 2013. – 208с.

4. Копылов, И.П. Электрические машины: Учеб. пособие для вузов / И.П. Копылов .— 3-е изд., испр. — М. : Высш. шк., 2002 .— 607с. : ил.

5. Электропривод летательных аппаратов. /Под ред. В.А. Полковникова. - Москва, Машиностроение, 1990 г.-352стр.

6. Чемоданов, Б.К. Следящие приводы: В 3 т. Т.2. Электрические следящие приводы/Е.С. Блейз , В.Н. Бродовский, В.А. Введенский и др. / Под ред. Б.К. Чемоданова .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003 .— 979с. : ил.

7. Основы расчета и проектирования мехатронных модулей систем наведения и стабилизации./ О.В. Горячев [и др.] Тула: Изд-во ТулГУ, 2011 – 233 с.

### **7.2 Дополнительная литература**

1. Епифанов, А. П. Электрические машины : учебник / А. П. Епифанов, Г. А. Епифанов. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 300 с. — ISBN 978-5-8114-2637-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/167448> (вход по учётной записи)

2. Рабинович Л.В. Динамика систем приводов: Уч. пособие - М.:БИБЛИО-ГЛОБУС, 2016. 266 с.:ил.

3. Розанов Ю.К. Электронные устройства электромеханических систем: Учеб. пособие для вузов / Ю. К. Розанов, Е.М. Соколова. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. - 272 с.: ил.

4. Терехов, В.М. Системы управления электроприводов : учебник для вузов / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова .— М. : Академия, 2005 .— 304 с.

#### **Периодические издания:**

1. Журнал «Мехатроника, автоматизация, управление» <https://mech.novtex.ru/>

2. Журнал «Приводная техника» <https://privod.ru/>.

3. Журнал «Известия высших учебных заведений. Электромеханика»  
<http://electromeh.npi-tu.ru/>

4. Методические указания имеются как в бумажном виде в методическом кабинете кафедры САУ, так и в электронном виде в единой кафедральной информационной базе (URL: \\Sauroot2k-r\КафедраСАУ).

### **8 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

1. <http://www.exponenta.ru> - Образовательный портал центра Центр Инженерных Технологий и Моделирования;

2. <http://www.elibrary.ru> - Научная электронная библиотека в области науки, технологии;

3. <https://e.lanbook.com/> - Электронная библиотечная система «Лань»;

4. <https://tsutula.bibliotech.ru/> - Электронный читальный зал «БИБЛИОТЕХ»: учебники авторов ТулГУ по всем дисциплинам;

5. <http://www.iprbookshop.ru/> - ЭБС IPRBooks - универсальная базовая коллекция изданий;

6. <http://cyberleninka.ru/> - НЭБ КиберЛенинка - научная электронная библиотека открытого доступа;

7. <http://window.edu.ru> - Единое окно доступа к электронным образовательным ресурсам.

### **9 Перечень информационных технологий, необходимых для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

#### **9.1 Перечень необходимого ежегодно обновляемого лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства**

1. Операционная система Microsoft Windows или её свободно распространяемый аналог - Calculate Linux;

2. Текстовый процессор Microsoft Word или его свободно распространяемые аналоги: LibreOffice и OpenOffice;

3. Пакет офисных приложений «МойОфис».

4. Пакет прикладных математических программ Matlab или его свободно распространяемый аналог: Scilab и Octave.

#### **9.2 Перечень необходимых современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем**

Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы не требуются.