

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ «ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА»

## 1. Цели и задачи дисциплины

Цель дисциплины - научить студентов проектировать исполнительные устройства систем управления различной физической природы для летательных аппаратов. Задачи - освоение основ математического описания, моделирования, анализа и проектирования исполнительных устройств систем управления летательных аппаратов.

## Краткое содержание дисциплины

Лекции посвящены рассмотрению электрических, гидравлических и пневматических исполнительных механизмов. На практических и лабораторных занятиях проводится исследование и моделирование исполнительных устройств.

## Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

| Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)   | Планируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУНы)   |
|---|--|
| ПК-38 способностью осуществлять безопасную эксплуатацию приборов, агрегатов и систем в соответствии с эксплуатационной документацией  | Знать: принципы работы исполнительных устройств систем управления летательными аппаратами                                  |
|   | Уметь: применять методы анализа систем для определения максимально допустимых значений параметров исполнительных устройств |
|   | Владеть: методами построения и анализа математических моделей  |
| ПСК-9.4 способностью проверять и готовить к эксплуатации приборы и устройства систем управления движением летательных аппаратов   | Знать: характеристики исполнительных устройств систем управления   |
|   | Уметь: интегрировать исполнительные устройства в систему управления  |
|   | Владеть: методами проектирования силовых преобразователей  |
| ПК-2 способностью самостоятельно выполнять теоретические, лабораторные и натурные исследования и эксперименты для решения конкурентоспособных научно-исследовательских и производственных задач с использованием современной аппаратуры | Знать: Физические основы исполнительных устройств  |
|   | Уметь: Проводить лабораторные исследования исполнительных устройств  |
|   | Владеть: Навыками проведения расчета характеристик, показателей качества исполнительных устройств                          |

## Содержание дисциплины

| № раздела | Наименование разделов дисциплины                        | Объем аудиторных занятий по видам в часах |   |    |    |
|-----------|---|---|---|----|----|
|           |   | Всего                                     | Л | ПЗ | ЛР |
| 1         | Классификация и характеристики исполнительных устройств | 4   | 4 | 0  | 0  |
| 2         | Электрические исполнительные устройства                 | 18  | 8 | 0  | 10 |
| 3         | Гидравлические исполнительные устройства                | 24  | 8 | 12 | 4  |
| 4         | Пневматические исполнительные устройства                | 12  | 4 | 6  | 2  |
| 5         | Моделирование исполнительных устройств                  | 22  | 8 | 14 | 0  |

## Лекции

| № лекции | № раздела | Наименование или краткое содержание лекционного занятия                           | Кол-во часов |
|----------|-----------|---|--------------|
| 1        | 1         | Основные понятия, назначение, классификация исполнительных устройств              | 2            |
| 2        | 1         | Характеристики исполнительных устройств   | 2            |
| 3        | 2         | Электромагнитные исполнительные устройства  | 2            |
| 4        | 2         | Электромеханические исполнительные устройства.                                    | 2            |
| 5        | 2         | Электропривод постоянного тока. Структурные схемы. Характеристики.                | 2            |
| 6        | 2         | Электропривод переменного тока. Методы управления. Характеристики                 | 2            |
| 7        | 3         | Элементы гидропривода. Принцип действия, основные характеристики                  | 2            |
| 8        | 3         | Основные функциональные схемы гидропривода. Дроссельное и объемное регулирование. | 2            |
| 9        | 3         | Электрогидравлические рулевые машинки.  | 2            |
| 10       | 3         | Методы коррекции динамических характеристик гидропривода                          | 2            |
| 11       | 4         | Пневматические элементы. Классификация, принцип действия, характеристики.         | 2            |
| 12       | 4         | Газовые двигатели   | 2            |
| 13       | 5         | Особенности моделирования исполнительных элементов. Выбор программных средств     | 2            |
| 14       | 5         | Модели электродвигателей. Выбор модели в зависимости от цели ее создания          | 2            |
| 15       | 5         | Модели силовых преобразователей   | 2            |
| 16       | 5         | Методы линеаризации. Линеаризованные модели гидравлических устройств              | 2            |

## Практические занятия

| № занятия | № раздела | Наименование или краткое содержание практического занятия                     | Кол-во часов |
|-----------|-----------|---|--------------|
| 1         | 3         | Расчет регулировочной характеристики управляемого дросселя                    | 6            |
| 2         | 3         | Расчет энергетических характеристик гидропривода с дроссельным регулированием | 6            |
| 3         | 4         | Расчет характеристик струйных пневматических элементов                        | 6            |
| 4         | 5         | Моделирование электропривода постоянного тока                                 | 6            |
| 5         | 5         | Моделирование электропривода переменного тока с векторным управлением         | 2            |
| 6         | 5         | Моделирование электропривода переменного тока с векторным управлением         | 6            |

## Лабораторные работы

| № занятия | № раздела | Наименование или краткое содержание лабораторной работы                         | Кол-во часов |
|-----------|-----------|---|--------------|
| 1         | 2         | Исследование системы "Тиристорный преобразователь - двигатель постоянного тока" | 2            |
| 2         | 2         | Исследование системы подчиненного регулирования                                 | 2            |
| 3         | 2         | Исследование преобразователя частоты Omron F7                                   | 2            |
| 4         | 2         | Исследование системы "Преобразователь частоты-асинхронный двигатель"            | 4            |
| 5         | 3         | Определение статической и динамической характеристик рулевой машинки            | 4            |
| 6         | 4         | Определение статической характеристики мембранного исполнительного механизма    | 2            |

## Самостоятельная работа студента

| Выполнение СРС                                    |   |              |
|---|---|--------------|
| Вид работы и содержание задания                   | Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) | Кол-во часов |
| Подготовка к практическим и лабораторным занятиям | Основная литература -1                                  | 28           |
| Подготовка к экзамену                             | Основная литература - 1-3                               | 36           |

## Паспорт фонда оценочных средств

| Наименование разделов дисциплины | Контролируемая компетенция ЗУНы   | Вид контроля (включая текущий)                             | №№ заданий |
|----------------------------------|---|--|------------|
| Все разделы                      | ПК-2 способностью самостоятельно выполнять теоретические, лабораторные и натурные исследования и эксперименты для решения конкурентоспособных научно-исследовательских и производственных задач с использованием современной аппаратуры | Проверка подготовки к практическим и лабораторным занятиям | 1          |
| Все разделы                      | ПК-38 способностью осуществлять безопасную эксплуатацию приборов, агрегатов и систем в соответствии с эксплуатационной документацией  | Экзамен  | 1          |
| Все разделы                      | ПСК-9.4 способностью проверять и готовить к эксплуатации приборы и устройства систем управления движением летательных аппаратов   | Экзамен  | 2          |
| Все разделы                      | ПК-2 способностью самостоятельно выполнять теоретические, лабораторные и натурные исследования и эксперименты для решения конкурентоспособных научно-исследовательских и производственных задач с использованием современной аппаратуры | Экзамен  | 1          |

## Виды контроля, процедуры проведения, критерии оценивания

| Вид контроля   | Процедуры проведения и оценивания  | Критерии оценивания   |
|--|--|---|
| Проверка подготовки к практическим и лабораторным занятиям | Студенту задается вопрос из перечня. В случае, если студент не отвечает на вопрос, ему задаются уточняющие вопросы | Зачтено: Студент правильно отвечает на большинство задаваемых вопросов<br>Не зачтено: Студент слабо подготовлен и с трудом отвечает на вопросы, не понимает материал  |
| Экзамен  | Проводится письменно, студент отвечает на вопросы билета   | Отлично: полностью правильные ответы на вопросы<br>Хорошо: незначительные ошибки в ответах на вопросы<br>Удовлетворительно: ответы на большую часть вопросов<br>Неудовлетворительно: ответы менее, чем на половину вопросов |

## Типовые контрольные задания

### Проверка подготовки к практическим и лабораторным занятиям

Дайте определение пневматическим средствам автоматизации.

Какими достоинствами обладают ПСА?

Какими недостатками обладают ПСА?

Поясните направления развития ПСА.

Охарактеризуйте элементы и устройства ПСА.

Нарисуйте элемент «сопло – заслонка» и поясните принцип работы.

Объясните принцип работы двухвходового усилителя давления.

Как работает пневмоэлектрический преобразователь?

Объясните назначение составных частей ПИ-регулятора типа ПР3.31.

Дайте характеристику пневматическим вторичным приборам.

Какую функцию выполняет исполнительный механизм в системах автоматического управления?

Дайте классификацию и поясните принцип работы насосных и реологических ИУ.

Дайте классификацию и поясните принцип работы основных групп исполнительных механизмов (ИМ).

Назовите основные технические характеристики ИМ.

### Экзаменационные билеты

#### Билет №1

1. Функции, выполняемые гидравлическими приводами в системах летательных аппаратов.
2. Методы увеличения демпфирования следящего гидропривода с большой инерционной нагрузкой.

#### Билет №2.

1. Принципиальная схема и устройство простейшего гидравлического привода с дроссельным регулированием скорости выходного звена.
2. Влияние обратных связей по ускорению, по перепаду давления в полостях гидроцилиндра, по скорости выходного звена на динамические характеристики привода с инерционной нагрузкой на выходном звене.

#### Билет №3

1. Статические характеристики гидропривода с дроссельным регулированием скорости выходного звена. Вывод формул, описывающих эти характеристики и их геометрическая интерпретация.
2. Задача увеличения демпфирования гидропривода с инерционной нагрузкой на выходном звене и пути её решения.

#### Билет №4.

1. Статическая жёсткость следящего гидропривода. Понятие о статической жёсткости, вывод формулы для её оценки. Влияние конструктивных и контурных параметров привода на статическую жёсткость.
2. Реализация обратной связи по перепаду давления в полостях гидроцилиндра в следящем гидроприводе. Фильтр высоких частот. Выбор его параметров.

#### Билет №5

1. Динамическая жёсткость следящего гидропривода. Понятие о динамической жёсткости, вывод формулы для её оценки. Влияние конструктивных и контурных параметров привода на динамическую жёсткость следящего привода.
2. Влияние утечек рабочей жидкости и жесткой обратной связи по перепаду давления в полостях гидроцилиндра в следящем гидроприводе на статические и динамические характеристики.

#### Билет №6

1. Факторы и параметры, определяющие жёсткость гидравлического цилиндра. Вывод формулы для её оценки.
2. Гидравлические приводы с объёмным регулированием скорости выходного звена. Статические характеристики привода с регулируемым насосом.

#### Билет №7

1. Факторы и параметры, определяющие механическую характеристику гидравлического привода с дроссельным регулированием скорости выходного звена. Графики изменения предельной механической характеристики при изменении площади поршня, ширины окна гидрораспределителя, давления подачи .
2. Гидравлические приводы с объёмным регулированием скорости выходного звена. Статические характеристики привода с регулируемым насосом.

#### Билет №8

1. Расчётная схема и вывод уравнений динамики исполнительного механизм гидропривода с инерционной нагрузкой. Передаточная функция исполнительного механизма – «золотниковый гидрораспределитель – гидроцилиндр» с инерционной нагрузкой.
2. Автономный гидравлический привод с регулируемым насосом. Принципиальная схема и устройство. Факторы влияющие на его механическую характеристику.

#### Билет №9

1. Вывод выражения для оценки жёсткости гидравлического цилиндра. Влияние размеров гидроцилиндра на его жёсткость.
2. Гидравлические приводы с объёмным регулированием скорости выходного звена. Влияние на статические характеристики привода с регулируемым насосом размеров насоса (диаметр плунжеров, диаметр окружности центров, угла наклона кинетора).

#### Билет №10.

1. Влияние конструктивных параметров на обобщённые коэффициенты передаточной функции разомкнутого гидропривода с инерционной нагрузкой. Динамические характеристики такого привода.
2. Регулировочная характеристика (скоростная характеристика) автономного гидропривода с регулируемым аксиально-поршневым насосом. Факторы, влияющие на коэффициент усиления привода по скорости.

#### Билет №11.

1. Динамические характеристики электрогидравлического привода с инерционной нагрузкой на выходном звене. Оценка запасов устойчивости следящего привода по логарифмическим частотным характеристикам.
2. Механическая характеристика автономного электрогидравлического привода с регулируемым насосом. Влияние конструктивных параметров привода на вид механической характеристики.

#### Билет №12

1. Оценка устойчивости следящего электрогидравлического привода с инерционной нагрузкой. Влияние на запасы устойчивости привода обратной связи по давлению нагрузки (перепаду давления на поршне).
2. Сравнение потерь энергии в гидроприводе с дроссельным регулированием скорости и в электрогидравлическом приводе с объёмным регулированием скорости.

#### Билет №13

1. Влияние на устойчивость следящего электрогидравлического привода с инерционной нагрузкой коэффициента усиления электронного усилителя, эффективной площади поршня, приведенной к штоку массы нагрузки, утечек.
2. Статические характеристики автономного привода с аксиально-поршневым насосом с изменяемым рабочим насосом. Факторы, влияющие на наклон механической характеристики.

#### Билет №14

1. Оценка обобщённых параметров, характеризующих динамику следящего электрогидравлического привода с инерционной нагрузкой: собственная частота, демпфирование, добротность позиционного контура. Влияние на

запасы устойчивости привода обратной связи по давлению нагрузки (перепаду давления на поршне).

2. Какие виды потерь энергии в гидроприводе с дроссельным регулированием скорости? Каким образом можно увеличить КПД привода с дроссельным регулированием?

Билет №15

1. Влияние на статические и динамические характеристики электрогидравлического привода параметров электрогидравлического усилителя мощности и нелинейностей его характеристик.

2. Энергетика привода с объёмным регулированием скорости выходного звена. Виды потерь энергии.

Билет №16

1. Вывод выражения для описания обобщённой механической характеристики. Графическая интерпретация выражения. Влияние конструктивных параметров гидрораспределителя и гидроцилиндра на вид механической характеристики.

2. Понятие о собственной частоте исполнительного механизма привода с инерционной нагрузкой. Формула для определения собственной частоты. Влияние собственной частоты на устойчивость следящего привода.

Билет №17

1. Понятие о добротности следящего электрогидравлического привода с дроссельным регулированием скорости. Влияние конструктивных параметров привода на величину добротности. Влияние добротности привода на его динамику.

2. Вывод выражения для оценки жёсткости гидроцилиндра. Влияние жёсткости гидроцилиндра на динамические характеристики следящего привода.

Билет №18.

1. Частотные характеристики динамической жёсткости следящего гидропривода. Показать влияние на динамическую жёсткость площади поршня гидроцилиндра, длины гидроцилиндра, коэффициента усиления по давлению ЭГУ.

2. Вывод передаточной функции исполнительного механизма гидропривода с дроссельным регулированием скорости и инерционной нагрузкой.

Билет №19

1. Вывод выражения, описывающего статическую жёсткость следящего привода. Оценить влияние на статическую жёсткость привода утечек рабочей жидкости и размеров гидроцилиндра.

2. Как изменятся запасы устойчивости следящего гидропривода с инерционной нагрузкой при увеличении площади поршня в 2 раза?



#### Билет №20

1. Частотные характеристики динамической следящего гидропривода с инерционной нагрузкой. Показать влияние на динамические характеристики уменьшение площади поршня гидроцилиндра, длины гидроцилиндра, коэффициента усиления по расходу ЭГУ.
2. Влияние на обобщённые параметры передаточной функции исполнительного механизма гидропривода с дроссельным регулированием скорости и инерционной нагрузкой утечек рабочей жидкости и величины приведенной к поршню массы инерционного объекта.

#### Билет № 21

1. Объясните по схеме физический смысл коэффициентов математической модели исполнительного механизма гидропривода с дроссельным регулированием скорости и инерционной нагрузкой.
2. Как изменятся запасы устойчивости следящего гидропривода с инерционной нагрузкой при увеличении площади поршня в 2 раза?

#### Билет №22

1. Понятие об автономном электрогидравлическом приводе с регулируемым насосом. Нарисовать примерную блок-схему автономного привода. Показать основные компоненты привода и их назначение.
2. Частотные характеристики динамической следящего гидропривода с инерционной нагрузкой. Показать влияние на динамические характеристики уменьшение площади поршня гидроцилиндра, длины гидроцилиндра, коэффициента усиления по расходу ЭГУ.

#### Билет №23

1. Понятие об автономном электрогидравлическом приводе с гидростатической передачей от электродвигателя к гидроцилиндру. Нарисовать примерную блок-схему автономного привода. Показать основные компоненты привода и их назначение.
2. Как изменятся запасы устойчивости следящего гидропривода с инерционной нагрузкой при увеличении коэффициента усиления электронного усилителя сигналов рассогласования в 2 раза?

#### Билет №24

1. Статические характеристики автономного электрогидравлического привода с регулируемым насосом. Нарисовать примерную блок-схему автономного привода. Показать основные компоненты привода и их назначение. Нарисовать вид статических характеристик привода
2. Как изменятся запасы устойчивости следящего гидропривода с инерционной нагрузкой при уменьшении площади поршня гидроцилиндра в 2 раза?

## Билет №25

1. Схема автономного электрогидравлического привода с гидростатической передачей от электродвигателя к гидроцилиндру. Нарисовать примерную блок-схему автономного привода. Показать основные компоненты привода и их назначение. Статические характеристики привода (скоростная и механическая) и их связь с характеристиками электродвигателя.
2. Как изменятся запасы устойчивости следящего гидропривода с инерционной нагрузкой при уменьшении площади поршня в 2 раза?

## Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Печатная учебно-методическая документация

#### *а) основная литература:*

1. Форенталь, В. И. Пневматические исполнительные механизмы Текст учеб. пособие В. И. Форенталь ; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Гидравлика и гидропневмосистемы ; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 1999. - 80 с. ил.
2. Устройства и элементы систем автоматического регулирования и управления Кн. 3 Исполнительные устройства и сервомеханизмы В 3-х кн. П. В. Бирюков, А. Г. Боровков, Е. С. Блейз; Под ред. д-ра техн. наук, проф. В. В. Солодовникова. - М.: Машиностроение, 1976. - 735 с.
3. Буренок, В. М. Математические методы и модели в теории информационно-измерительных систем Текст В. М. Буренок, В. Г. Найденов, В. И. Поляков ; Рос. акад. ракет. и артиллер. наук. - М.: Машиностроение, 2011. - 334 с. ил.

#### *б) дополнительная литература:*

1. Крымов, Б. Г. Исполнительные устройства систем управления летательными аппаратами [Учеб. пособие для втузов]. - М.: Машиностроение, 1987. - 261 с. ил.
2. Элементы приборных устройств : Основной курс Ч. 2 Приводы, преобразователи, исполнительные устройства Основной курс: Для приборостроит. спец. вузов. В 2-х ч. Под ред. О. Ф. Тищенко. - М.: Высшая школа, 1982. - 263 с. ил.

## Электронная учебно-методическая документация

| № | Вид литературы      | Наименование разработки   | Ссылка на информационный ресурс                             | Наименование ресурса в электронной форме          | Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ) |
|---|---------------------|---|---|---|---|
| 1 | Основная литература | Буренок, В. М. Математические методы и модели в теории информационно-измерительных систем / Текст В. М. Буренок, В. Г. Найденов, В. И. Поляков ; Рос. акад. ракет. и артиллер. наук. - М.: Машиностроение, 2011. - 334 с. ил. | <a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a> | Электронно-библиотечная система Издательства Лань | Интернет / Авторизованный   |