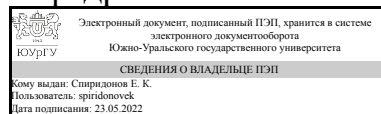


УТВЕРЖДАЮ:  
Заведующий выпускающей  
кафедрой



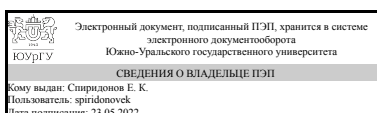
Е. К. Спиридонов

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

**дисциплины** 1.Ф.М2.05.02 Теория переходных процессов в гидропневмосистемах  
**для направления** 15.04.02 Технологические машины и оборудование  
**уровень** Магистратура  
**магистерская программа** Автоматизированные гидравлические и пневматические системы и агрегаты  
**форма обучения** очная  
**кафедра-разработчик** Гидравлика и гидропневмосистемы

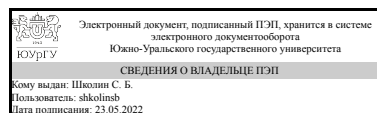
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 15.04.02 Технологические машины и оборудование, утверждённым приказом Минобрнауки от 14.08.2020 № 1026

Зав.кафедрой разработчика,  
д.техн.н., проф.



Е. К. Спиридонов

Разработчик программы,  
к.техн.н., доцент



С. Б. Школин

## 1. Цели и задачи дисциплины

Современная теория управления гидропневмосистем, на основе весьма сложного математического аппарата, и современных методов моделирования при помощи ЭВМ позволяет решать практические инженерные задачи анализа и синтеза гидравлических устройств и систем, а также проводить аналитические и экспериментальные исследования любых сложных систем. Гидравлические средства автоматизации получают все более широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. Особенно большое внимание специалистов привлекают вопросы расчета и исследования динамических процессов, возникающих в гидравлических системах. Однако многообразие условий, в которых используются гидравлические средства автоматизации, вызывают известные трудности при изложении таких вопросов. Создание курса, который раскрывал бы студентам теоретические основы и практические методы расчетов динамики гидравлических систем, стало возможным благодаря тому, что процессы в таких системах подчиняются общим закономерностям, определяемым при помощи теории математического регулирования и гидромеханики. При изучении данных дисциплин студенты получают знания по расчету гидравлических и электрогидравлических систем автоматического регулирования и управления, обоснование выбора элементов гидравлических и электрогидравлических систем с точки зрения требований, предъявляемых к динамическим и статическим характеристикам систем, а также приобретают навыки их эксплуатации.

## Краткое содержание дисциплины

Общие сведения об электрогидравлических системах управления; классификация систем автоматического управления; отыскание областей устойчивости систем (Д-разбиение); нелинеаризованная модель гидропривода дроссельного регулирования; линеаризация обобщенной дроссельной характеристики гидропривода; уравнения и передаточная функция линеаризованной модели гидропривода дроссельного регулирования; силовая часть гидропривода объемного регулирования; уравнения, структурная схема и устойчивость следящего гидропривода объемного регулирования с жесткой обратной связью; динамика гидропривода с длинными трубопроводами; уравнения, статические характеристики и передаточные функции гидроусилителей различного типа; нелинейные системы; типовые нелинейные элементы; характерные нелинейности гидропривода; метод фазового пространства; автоколебания в нелинейных гидравлических системах; частотные характеристики замкнутых нелинейных систем; импульсные гидросистемы. Гидросистемы с ШИМ 1 и 2 рода.

## 2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-9 Способен получать математические модели гидравлических систем и приводов, учитывающих динамические свойства их элементов и объектов управления, и на их основе конструировать регуляторы для обеспечения	Знает: основы теории автоматического управления Умеет: составлять математические модели и передаточные функции гидросистем Имеет практический опыт: разработки и

требуемых динамических свойств	моделирования регуляторов обеспечивающих требуемые динамические свойства электрогидравлических систем
--------------------------------	---

### 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
Нет	Не предусмотрены

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

Нет

### 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 з.е., 216 ч., 114 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		1	2
Общая трудоёмкость дисциплины	216	108	108
<i>Аудиторные занятия:</i>	96	48	48
Лекции (Л)	32	16	16
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	64	32	32
Лабораторные работы (ЛР)	0	0	0
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	102	51,5	50,5
с применением дистанционных образовательных технологий	0		
Подготовка к экзамену	47	25	22
Тестирование	10	5	5
Выполнение курсового проекта	15,5	0	15,5
Выполнение заданий текущего контроля	29,5	21,5	8
Консультации и промежуточная аттестация	18	8,5	9,5
Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	экзамен	экзамен,КП

### 5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Введение. Общие сведения об электрогидравлических системах.	2	2	0	0
2	Области устойчивости гидравлических систем управления. (Д-	4	2	2	0

	разбиение)				
3	Уравнения движения гидродвигателя дроссельного регулирования без учета сжимаемости жидкости. Анализ уравнений движения гидравлического привода дроссельного регулирования с учетом сжимаемости жидкости при различных видах нагрузки. Уравнения силовой части гидропривода дроссельного регулирования с учетом утечек и сжимаемости. Численное решение дифференциальных уравнений движения ГП дроссельного регулирования. Расчет потребной мощности.	6	2	4	0
4	Уравнения линеаризованной модели ГП дроссельного регулирования. Передаточная функция и структурная схема гидропривода дроссельного регулирования с использованием проточного золотника.	6	2	4	0
5	Уравнения и структурная схема силовой части объемного гидропривода. Принципиальная и расчетная схемы силовой части гидропривода с объемным регулированием.	6	2	4	0
6	Уравнения и структурная схема гидропривода объемного регулирования с учетом жесткости механической передачи, соединяющий исполнительный двигатель и объект регулирования.	2	2	0	0
7	Устойчивость следящего гидропривода объемного регулирования с жесткой обратной связью. Математическая модель силовой части гидропривода с длинными трубопроводами. Приближенное определение частотных характеристик силовой части гидропривода с длинными трубопроводами.	6	2	4	0
8	Устойчивость следящего гидропривода объемного регулирования с электрическими датчиками обратной связи. Принципиальные схемы следящих систем, включающих гидропривод объемного регулирования.	2	2	0	0
9	Устойчивость и качество процессов в следящем гидроприводе дроссельного регулирования с использованием проточного золотника.	6	2	4	0
10	Уравнения, статические характеристики и передаточные функции гидроусилителей первого каскада (струйная трубка, сопло-заслонка).	6	2	4	0
11	Дроссельный гидропривод с механической обратной связью. Структурная схема, передаточные функции и устойчивость дроссельного гидропривода с обратной связью.	6	2	4	0
12	Структурная схема и передаточные функции следящего электрогидравлического привода. Электрогидравлическая следящая система с гидроприводом дроссельного регулирования и с дополнительной обратной связью по давлению. Электрогидравлическая следящая система с гидроприводом дроссельного регулирования и с дополнительной обратной связью по расходу жидкости. Автоколебания в электрогидравлической следящей системе с гидроприводом дроссельного регулирования.	4	2	2	0
13	Нелинейные системы. Типовые нелинейные элементы. Характерные нелинейности гидропривода.	6	2	4	0
14	Обзор методов решений нелинейных дифференциальных уравнений. Метод Фазового пространства. Особые точки фазовых портретов. Построение фазовых портретов методом изоклин. Приближенное построение переходного процесса нелинейных систем.	8	2	6	0
15	Метод гармонического баланса	8	2	6	0
16	Автоколебания в нелинейных гидравлических системах. Определение параметров автоколебаний. Метод Гольбфарба.	6	2	4	0
17	Частотные характеристики замкнутых нелинейных систем. Моделирование эксперимента по снятию частотной характеристики нелинейной гидросистемы.	4	0	4	0
18	Импульсные гидросистемы. Гидросистемы с ШИМ 1 и 2 рода.	4	0	4	0

19	Преобразования структурных схем нелинейных систем	4	0	4	0
----	---	---	---	---	---

## 5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Введение. Общие сведения об электрогидравлических системах.	2
2	2	Области устойчивости. Д-разбиение	2
3	3	Уравнения движения гидродвигателя дроссельного регулирования без учета сжимаемости жидкости. Анализ уравнений движения гидравлического привода дроссельного регулирования с учетом сжимаемости жидкости при различных видах нагрузки.	2
5	4	Уравнения линеаризованной модели ГП дроссельного регулирования. Передаточная функция и структурная схема гидропривода дроссельного регулирования с использованием проточного золотника.	2
6	5	Уравнения и структурная схема силовой части объемного гидропривода. Принципиальная и расчетная схемы силовой части гидропривода с объемным регулированием.	2
7	6	Уравнения и структурная схема гидропривода объемного регулирования с учетом жесткости механической передачи, соединяющий исполнительный двигатель и объект регулирования.	2
8	7	Устойчивость следящего гидропривода объемного регулирования с жесткой обратной связью. Математическая модель силовой части гидропривода с длинными трубопроводами.	2
9	8	Устойчивость следящего гидропривода объемного регулирования с электрическими датчиками обратной связи. Принципиальные схемы следящих систем, включающих гидропривод объемного регулирования.	2
10	9	Устойчивость и качество процессов в следящем гидроприводе дроссельного регулирования с использованием проточного золотника.	2
11	10	Уравнения, статические характеристики и передаточные функции гидроусилителей первого каскада (струйная трубка, сопло-заслонка).	2
12	11	Дроссельный гидропривод с механической обратной связью. Структурная схема, передаточные функции и устойчивость дроссельного гидропривода с обратной связью.	2
13	12	Структурная схема и передаточные функции следящего электрогидравлического привода. Электрогидравлическая следящая система с гидроприводом дроссельного регулирования и с дополнительной обратной связью по давлению. Электрогидравлическая следящая система с гидроприводом дроссельного регулирования и с дополнительной обратной связью по расходу жидкости. Автоколебания в электрогидравлической следящей системе с гидроприводом дроссельного -регулирования.	2
14	13	Нелинейные системы. Типовые нелинейные элементы. Характерные нелинейности гидропривода.	2
15	14	Обзор методов решений нелинейных дифференциальных уравнений. Метод Фазового пространства. Особые точки фазовых портретов. Построение фазовых портретов методом изоклин. Приближенное построение переходного процесса нелинейных систем.	2
16	15	Метод гармонического баланса.	2
17	16	Автоколебания в нелинейных гидравлических системах	2

## 5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	2	Д-разбиение в плоскости одного параметра	2
2	3	Самостоятельная работа - составление блок-схемы для моделирования ГП дроссельного рег. в vissim	4
3	4	Линеаризация обобщенной характеристики дросселирующего элемента	4
4	5	Самостоятельная работа "Получение и составление передаточных функций простейших гидроприводов объемного регулирования без обратной связи"	2
5	5	Самостоятельная работа "Получение и составление передаточных функций простейших гидроприводов объемного регулирования с обратной связью"	2
6	7	Приближенное определение частотных характеристик силовой части гидропривода с длинными трубопроводами.	4
7	9	Моделирование следящего гидропривода дроссельного регулирования с проточным золотником	4
8	10	Уравнение движения, передаточная функция и структурная схема гидропривода дроссельного регулирования с использованием в качестве гидравлического усилителя мощности со струйной трубкой.	4
9	11	Получение структурной схемы упрощенной модели дроссельного гидропривода с механической обратной связью.	4
10	12	Передаточная функция ГП дроссельного рег поворота управляющего органа насоса с дополнительной обратной связью по расходу.	2
11	13	1) Моделирование системы с нелинейным элементом (зона насыщения 1-го рода); 2) Моделирование системы с релейным элементом	2
12	13	Сопоставление моделей гидроприводов линейных и с учетом нелинейностей	2
13, 14	14	1) Построение фазовых портретов систем: линейных, и содержащих нелинейный элемент.	4
15	14	Самостоятельная работа построение методом изоклин фазового портрета системы.	2
17, 18	15	Эквивалентная линеаризация типовых нелинейностей.	4
19	15	Самостоятельная работа по эквивалентной линеаризации	2
20	16	Определение колебаний методом Гольдфарба .	2
21	16	Отыскание симметричных одночастотных вынужденных колебаний графическим методом.	2
22, 23	17	Построение частотной характеристики нелинейной системы.	4
26	18	Составление блок-схемы для моделирования импульсной гидросистемы	4
27	19	Преобразования структурных схем нелинейных систем	4

### 5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

### 5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС			
Подвид СРС	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на ресурс	Семестр	Кол-во часов
Подготовка к экзамену	см. Информационное обеспечение	1	25
Тестирование	см. Информационное обеспечение	1	5
Подготовка к экзамену	см. Информационное обеспечение	2	22

Тестирование	см. Информационное обеспечение	2	5
Выполнение курсового проекта	см. Информационное обеспечение	2	15,5
Выполнение заданий текущего контроля	см. Информационное обеспечение	2	8
Выполнение заданий текущего контроля	см. Информационное обеспечение	1	21,5

## 6. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации

Контроль качества освоения образовательной программы осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценивания результатов учебной деятельности обучающихся.

### 6.1. Контрольные мероприятия (КМ)

№ КМ	Се-мestr	Вид контроля	Название контрольного мероприятия	Вес	Макс. балл	Порядок начисления баллов	Учитывается в ПА
3	1	Промежуточная аттестация	Экзамен	-	100	<p>При оценке результатов мероприятия используется балльно-рейтинговая система оценивания результатов учебной деятельности обучающихся (утверждена приказом ректора от 24.05.2019 г. № 179). Оценивается письменный ответ на два вопроса билета. За ответ на каждый вопрос начисляется максимум 50 баллов. баллы начисляются по следующим правилам:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ответ дан на заданную тему -20 баллов</li> <li>2. Рисунок (схема) соответствует теме, экзаменуемый может дать пояснения -10 баллов</li> <li>3. Присутствуют необходимые дифференциальные уравнения -10 баллов</li> <li>4. Полученная передаточная функция (структурная схема) верна - 10 баллов</li> <li>5. Экзаменуемый может сделать выводы, дать пояснения по передаточной функции (структурной схеме) - 10 баллов</li> </ol> <p>Баллы по результатам ответа на два вопроса суммируются. Рейтинг рассчитывается по следующей шкале (1 балл -1% рейтинга по промежуточной аттестации)</p> <p>Отлично: Итоговый рейтинг обучающегося 85-100% Хорошо: Итоговый рейтинг обучающегося 75-84% Удовлетворительно: Итоговый рейтинг обучающегося 60-74% Неудовлетворительно: Итоговый рейтинг обучающегося 0-59%</p>	экзамен
7	2	Промежуточная	Экзамен	-	100	<p>При оценке результатов мероприятия используется балльно-рейтинговая система</p>	экзамен

		аттестация			<p>оценивания результатов учебной деятельности обучающихся (утверждена приказом ректора от 24.05.2019 г. № 179). Оценивается письменный ответ на два вопроса билета. За ответ на каждый вопрос начисляется максимум 50 баллов. баллы начисляются по следующим правилам:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ответ дан на заданную тему -20 баллов</li> <li>2. Рисунок (схема) соответствует теме, экзаменуемый может дать пояснения -10 баллов</li> <li>3. Присутствуют необходимые дифференциальные уравнения -10 баллов</li> <li>4. Полученная передаточная функция (структурная схема) верна - 10 баллов</li> <li>5. Экзаменуемый может сделать выводы, дать пояснения по передаточной функции (структурной схеме) - 10 баллов</li> </ol> <p>Баллы по результатам ответа на два вопроса суммируются. Рейтинг рассчитывается по следующей шкале (1 балл -1% рейтинга по промежуточной аттестации)</p> <p>Отлично: Итоговый рейтинг обучающегося 85-100% Хорошо: Итоговый рейтинг обучающегося 75-84% Удовлетворительно: Итоговый рейтинг обучающегося 60-74% Неудовлетворительно: Итоговый рейтинг обучающегося 0-59%</p>	
--	--	------------	--	--	---	--

## 6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид промежуточной аттестации	Процедура проведения	Критерии оценивания
экзамен	Экзамен является обязательной процедурой промежуточной аттестации. До экзамена допускаются студенты, защитившие курсовой проект и имеющие рейтинг по результатам текущего контроля выше 59. Экзамен проводится в форме письменного опроса. Студенту выдается билет с двумя вопросами из списка контрольных вопросов. Время, отведенное на подготовку -45 минут оценивается письменный ответ на два вопроса билета. За ответ на каждый вопрос начисляется максимум 50 баллов	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения

## 6.3. Паспорт фонда оценочных средств

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ	
		3	7
ПК-9	Знает: основы теории автоматического управления	+	+
ПК-9	Умеет: составлять математические модели и передаточные функции гидросистем	+	+



ПК-9	Имеет практический опыт: разработки и моделирования регуляторов обеспечивающих требуемые динамические свойства электрогидравлических систем	+	+
------	---	---	---

Типовые контрольные задания по каждому мероприятию находятся в приложениях.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Печатная учебно-методическая документация

#### а) основная литература:

1. Шумилов, И. С. Системы управления рулями самолетов Текст учеб. пособие для вузов И. С. Шумилов. - М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. - 469 с.
2. Попов, Д. Н. Динамика и регулирование гидро-и пневмосистем Учеб. для вузов по спец. "Гидропневмоавтоматика и гидропривод" и "Гидравл. машины и средства автоматизации" Д. Н. Попов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1987. - 464 с. ил.
3. Ту, Ю. Т. Современная теория управления Ю. Т. Ту; Пер. с англ. Я. Н. Гибадулина; Под ред. В. В. Солодовникова. - М.: Машиностроение, 1971. - 472 с. черт.

#### б) дополнительная литература:

1. Ощепков, А. Ю. Системы автоматического управления : Теория, применение, моделирование в MATLAB Текст учеб. пособие для техн. и классич. ун-тов А. Ю. Ощепков. - 2-е изд., испр. и доп. - СПб. и др.: Лань, 2013. - 208 с. ил.
2. Коновалов, Б. И. Теория автоматического управления Текст учеб. пособие для вузов по специальности 210106 - "Промышл. электроника" Б. И. Коновалов, Ю. М. Лебедев. - 3-е изд., доп. и перераб. - СПб. и др.: Лань, 2010. - 218, [1] с. ил.
3. Гамынин, Н. С. Гидравлический привод систем управления Учеб. пособие для авиац. вузов и фак. Н. С. Гамынин. - М.: Машиностроение, 1972. - 376 с. ил.
4. Гамынин, Н. С. Основы следящего гидравлического привода Н. С. Гамынин. - М.: Оборонгиз, 1962. - 293 с. черт.
5. Хохлов, В. А. Гидравлические усилители мощности [Текст] В. А. Хохлов ; Акад. наук СССР, Ин-т автоматизации и телемеханики. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Издательство АН СССР, 1963. - 104 с. черт.

#### в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:

1. Известия РАН. Теория и системы управления. Государственное унитарное предприятие Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр Российской академии наук Издательство Наука. Электронная версия: <http://www.maik.ru/cgi-bin/list.pl?page=teorsist> [полные тексты статей]
2. Автоматизация и управление в технических системах / Красноярск: Издательство «Общество с ограниченной ответственностью Научно-инновационный центр».

3. Вестник московского университета. Серия 15: вычислительная математика и кибернетика / МГУ – Москва: Издательство Московского государственного университета

г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

1. Динамика и регулирование гидроневмосистем: методические указания и варианты заданий к выполнению курсового проекта / Составители; И.И.Лапин, К.В.Федяев. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2009. – 28 с.

из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

### Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование ресурса в электронной форме	Библиографическое описание
1	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	ГПетраков, Ю.В. Теория автоматического управления технологическими системами: учебное пособие для студентов вузов. [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ю.В. Петраков, О.И. Драчев. — Электрон. дан. — М. : Машиностроение, 2009. — 336 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/751">http://e.lanbook.com/book/751</a> — Загл. с экрана.
2	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Коновалов, Б.И. Теория автоматического управления. [Электронный ресурс] / Б.И. Коновалов, Ю.М. Лебедев. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2010. — 224 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/538">http://e.lanbook.com/book/538</a> — Загл. с экрана.

Перечень используемого программного обеспечения:

1. Math Works-MATLAB, Simulink R2014b(бессрочно)
2. Visual Solution, Inc.-VisSim(бессрочно)

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

1. EBSCO Information Services-EBSCOhost Research Databases(28.02.2017)

### 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
Практические занятия и семинары	314 (2)	Мультимедийная аудитория