

К распоряжению первого проректора –  
проректора по научной работе  
от \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»

УТВЕРЖДАЮ  
Первый проректор-проректор  
по научной работе

\_\_\_\_\_ А.В. Коржов

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

### ПРОГРАММА

кандидатского экзамена по специальной дисциплине:

Научная специальность: 2.5.10 Гидравлические машины, вакуумная, компрессорная техника,  
гидро - и пневмосистемы

Разработчики:

1. *Спиридонов Е.К., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой*
2. *Исмаилов А.Р., к.т.н., доцент*
3. *Хабарова Д.Ф., к.т.н., доцент*

Челябинск 2022 г.

## РАЗДЕЛЫ ПРОГРАММ КАНДИДАТСКИХ ЭКЗАМЕНОВ

1. **Перечень тем для подготовки к кандидатскому экзамену**
  - 1.1 Механика жидкости и газа и нестационарные процессы в гидросистемах
  - 1.2 Объемные гидравлические машины и гидропередачи
  - 1.3 Лопастные гидравлические машины и гидродинамические передачи
  - 1.4 Гидравлическая аппаратура
  - 1.5 Пневматический привод и средства автоматизации
  - 1.6 Динамика гидропневматических систем и регулирование
  - 1.7 Трибология и химмотология рабочих жидкостей
2. **Вопросы для подготовки к сдаче кандидатского экзамена с учетом отрасли науки**
  - 2.1. **Механика жидкости и газа и нестационарные процессы в гидросистемах**
    - Основные физические свойства жидкости и газа. Понятие о массовых и поверхностных силах, баланс сил. Дифференциальное уравнение гидростатики. Распределение давления в неподвижной жидкости. Основные понятия кинематики; идеальная и вязкая жидкость, установившееся и неуставившееся движение, линия тока, трубка тока, потенциальное и вихревое движение жидкости. Определение расхода, интенсивности вихревой трубки и циркуляции скорости. Теорема Стокса. Основные характеристики потока в нормальном сечении. Основные уравнения гидродинамики: уравнение неразрывности, уравнение движения идеальной жидкости Эйлера. Уравнение Бернулли для потока жидкости. Структура потока в трубах. Уравнение равномерного прямолинейного движения вязкой жидкости в трубе. Распределение касательных напряжений по сечению трубы и давлений по ее длине. Закон трения Ньютона. Распределение скоростей по сечению трубы при ламинарном и турбулентном движении жидкости. Вычисление потерь давления по длине трубы. Коэффициент трения и его связь с числом Рейнольдса. Местные сопротивления. Внезапное расширение потока (теорема Борда). Истечение из отверстий и насадков. Коэффициенты скорости, расхода и сжатия, Течение в диффузорах.
    - Уравнений Навье-Стокса движения вязкой жидкости. Применение законов количества движения и момента количества движения к жидкости. Основы теории подобия и моделирования гидродинамических процессов. Основные критерии динамического подобия. Основы теории пограничного слоя, его характеристики, Уравнение Прандтля движения вязкой жидкости в пограничном слое. Интегральное уравнение для пограничного слоя.
    - Неуставившееся движения жидкости и газа; уравнения, описывающие такое движение. Гидравлический удар. Колебания жидкости и газа.

## **2.2 Объемные гидравлические машины и гидропередачи**

1). Поршневые и роторные гидромашины. Их устройство, особенности рабочего процесса, параметры, статические характеристики, кинематика механизмов вытеснения рабочей жидкости. Конструкции распределителей рабочей жидкости. Расчет размеров, силовые соотношения в многопоршневых гидромашинах. Расчет крутящих моментов и сил, действующих на статор и ротор. Гидравлическое уравнивание нагрузок, Высокомоментные (тихоходные) гидромоторы. Основные особенности их конструкций. Расчет крутящих моментов, инерционных и гидравлических сил. Выбор оптимальных профилей направляющих статора. Регулирование высокомоментных гидромоторов. Зубчатые и винтовые гидромашины. Основные кинематические соотношения. Расчеты нагрузок и их уравнивание. Расчет размеров. Потери энергии в гидрообъемных машинах. Теоретическое и экспериментальное определение потерь и КПД. Рабочие жидкости для систем объемного гидропривода. Их основные физические свойства и характеристики. Рекомендации по выбору рабочих жидкостей. Причины загрязнения рабочих жидкостей в гидросистемах, Классы чистоты и требования к качеству рабочей жидкости для гидросистемы. Фильтры. Их классификация по принципу действия. Расчет размеров фильтрующих элементов и гидравлических сопротивлений в цепи фильтра.

2). Объемный гидравлический привод. Принципиальные схемы. Примеры практического применения, Статические характеристики идеализированных моделей. Математическая модель объемного гидропривода с регулируемым насосом, учитывающая реальные и условные утечки. Передаточная функция такой модели и частотные характеристики. Гидравлический привод с дроссельным регулированием. Варианты подключения регулируемых дросселей, уравнения статических характеристик, Привод с дросселирующими гидрораспределителями. Статические характеристики. Математическая модель и ее линеаризация. Передаточные функции такого привода. Электрогидравлический следящий привод. Математическая модель привода с ЭГУ и электрической главной обратной связью. Линеаризация модели. Анализ динамических процессов при управлении. Применение ЭВМ в динамических расчетах гидроприводов.

## **2.3 Лопастные гидравлические машины и гидродинамические передачи**

-Различные виды лопастных гидромашин, их назначение. Основные параметры лопастных гидромашин, Классификация лопастных гидромашин по принципу действия, Основные конструктивные схемы гидротурбин, насосов и насос-турбин. Элементы проточной части лопастных гидромашин (центробежного насоса, реактивной гидротурбины, насос-турбины, гидромуфты и гидротрансформатора), их назначение. Понятие о рабочем и теоретическом напоре, гидравлическом КПД гидротурбины и насоса. Виды потерь энергии лопастных гидромашин, их общий КПД.

-Основные условия подобия в лопастных гидромашинах. Связь между основными параметрами подобных гидромашин. Приведенные величины, коэффициент быстроходности, Классификация лопастных гидромашин по быстроходности и области их применения. Физическая сущность кавитации, ее последствия. Высота всасывания насоса. Меры защиты от кавитации. Основные методы расчета рабочих органов лопастных гидромашин. Абсолютное и относительное движение жидкости в рабочем колесе. Треугольник скоростей. Уравнение Эйлера лопастной гидромашин (для насоса и гидротурбины). Рабочие и универсальные характеристики гидротурбины, насоса и насос-турбины. Способы регулирования лопастных гидромашин. Моментные характеристики лопастных гидромашин. Совместная работа насоса и сети.

- Классификация гидродинамических передач. Основы рабочего процесса, баланс моментов, баланс напоров. Виды потерь; внешняя, универсальная и тяговая

характеристики гидромуфт. Приведенные параметры и приведенная характеристика, ее связь с типом лопастной системы. Способы управления гидромуфтой. Влияние типа нагрузки на вид внешней характеристики и на потери; тепловой баланс. Расчет гидромуфты на основе моделирования с использованием приведенных характеристик. Особенности рабочего процесса гидротрансформатора, схемы проточной части. Внешняя и приведенная характеристики.

- Типы гидротрансформаторов, конструктивные схемы (комплексных, многоколесных и многоступенчатых). Системы питания и охлаждения, тепловой баланс. Способы управления гидротрансформаторами. Согласование работы двигателя и гидротрансформатора. Методы расчета лопастных систем. Основы расчета характеристик гидротрансформатора.

## **2.4. Гидравлическая аппаратура**

- Линейные и дросселирующие гидрораспределители, типы назначения, устройства, принцип действия. Основные схемы подключения в гидравлических системах. Регулировочные и энергетические характеристики. Силы, действующие на подвижные элементы распределителей. Расчет гидрораспределителей. Особенности гидрораспределителей типа "сопло-заслонка", "струйная трубка".

- Гидравлические усилители без обратных связей и с ними, конструктивные особенности, принцип действия. Коэффициенты усиления гидроусилителей типа "сопло-заслонка", "струйная трубка".

- Гидравлические аппараты регулирования давления и потока жидкости, их назначение, устройство, типы, принцип действия. Гидравлические предохранительные и переливные клапаны. Их классификация по принципу действия. Гидродинамический расчет клапанов прямого действия. Математическое моделирование рабочего процесса золотникового переливного клапана с сервоуправлением. Гидравлические распределители потока. Классификация по виду перекрытия. Уравнения статических характеристик дросселирующих распределителей. Коэффициенты расхода. Гидродинамические силы. Способы управления распределителями. Примеры применения.

- Гидравлические устройства стабилизации потока жидкости, типы, устройство, принцип действия, область применения, особенности применения.

- Гидравлические делители и сумматоры потоков объемного и дроссельного типов, устройство, принцип действия, область применения.

- Электрогидравлические усилители (ЭГУ) мощности. Классификация по основным конструктивным признакам. Назначение. Виды и устройство применяемых в ЭГУ электромеханических преобразователей. Виды обратных связей. Математические модели ЭГУ основных типов (золотникового, с элементом «сопло-заслонка», с элементом «струйная трубка»). Линеаризация уравнений математической модели, операторная форма. Передаточные функции ЭГУ различных типов. Частотные характеристики. Качество переходных процессов в ЭГУ.

- Пропорциональная гидравлическая техника, ее особенности, разновидности, устройство, принцип работы, область применения.

## **2.5. Пневматический привод и средства автоматизации**

- Особенности пневматического привода. Пневматические источники энергии, типы, устройство, принцип действия. Классификация. Основные параметры и характеристики. Способы и приборы для очистки и сушки воздуха, их устройство и принцип действия.

- Пневматические исполнительные устройства поступательного и вращательного движений, разновидности, особенности, основные характеристики. Пневматические двигатели, особенности выбора и их расчета. Следящие пневматические приводы, основные характеристики и особенности работы.

- Пневматические мембранные элементы для средних давлений, устройство, принцип действия, характеристики, область применения. Реализация логических функций с помощью мембранной техники.
- Струйные элементы пневматических систем малых давлений, устройство, разновидности, принцип действия, основные характеристики. Струйный усилитель, назначение и область применения. Реализация логических функций на струйных элементах.
- Пневматические глухие и проточные камеры. Статические и динамические характеристики проточных камер с ламинарными и турбулентными дросселями. Усилитель типа "сопло-заслонка" как частный случай проточной камеры.
- Методика синтеза одноктактных и многотактных систем управления пневматическими приводами.

## **2.6. Динамика гидропневматических систем и регулирование**

- Основные понятия и определения. Виды алгоритмов управления в технических системах.
- Основные элементы автоматических регуляторов и управляющих устройств. Устойчивость, качество, точность регулирования и управления.
- Статика и динамика автоматических систем. Математические модели систем. Характеристики систем. Линеаризация характеристик и уравнений при описании систем.
- Динамические звенья и структурные схемы систем автоматического регулирования и управления (САР и САУ). Устойчивость систем. Критерии устойчивости. Качество процессов регулирования, показатели качества переходных процессов. Применение ЭВМ для исследования и расчета переходных процессов.
- Синтез корректирующих звеньев. Методы исследования и расчетов нелинейных систем. Импульсные и цифровые системы. Оптимальные системы. Математическое описание гидро- и пневмосистем. Виды математических моделей гидро- и пневмосистем. Методы исследований и расчетов динамических режимов гидро- и пневмосистем.
- Динамические характеристики гидравлических и пневматических линий. Динамические характеристики регулирующих и распределительных устройств. Следящие гидромеханические и пневматические приводы с дроссельным регулированием. Математическая модель, структурная схема, анализ устойчивости и расчет динамических характеристик.
- Электрогидравлические и электропневматические следящие приводы с дроссельным регулированием. Функциональные схемы, математические модели, структурные схемы. Динамический расчет.
- Следящие гидроприводы с объемным регулированием. Принципиальная и расчетная схема. Математическая модель. Структурная схема. Динамический расчет. Гидравлические и пневматические системы с автоматическими регуляторами.
- Функции автоматических регуляторов. Математические модели систем автоматического регулирования объемных насосов. Динамика гидравлических систем с регулируемым насосом.

## **2.7. Трибология и химмотология рабочих жидкостей**

- Термины и определения. Классификация смазочных материалов и рабочих жидкостей. Основные учения. Спираль качества техники. Основные положения качества техники. Техническая рациональность и правила ее повышения. Общая методология проектирования. Теории трения и износа. Триада Чичинадзе. Триада Крагельского. Факторы трибологического процесса. Критерии оценки износа, виды изнашивания.

- Функции, свойства и параметры рабочей жидкости и смазки. Структура (состав) рабочих жидкостей и смазок. Составление химмотологической карты.

### 3. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

#### 3.1 Основная литература

3.1.1. Фабер, Т.Е. Гидроаэродинамика / Т.Е. Фабер; пер. с англ. – Москва: Постмаркет, 2001.

3.1.2. Гиргидов А.Д. Механика жидкости и газа (гидравлика): учебник для вузов по направлениям «техн. науки», «техника и технология»/ А.Д. Гиргидов; СПб: Изд-во Политехнического университета, 2007 – 544 с.

3.1.3 Чупраков Ю.И. Гидропривод и средства гидроавтоматики. – М.: Машиностроение, 1979. – 232 с.

3.1.4. Данилов Ю.А., Кирилловский Ю.Л., Колпаков Ю.Г. Аппаратура объемных гидроприводов: Рабочие процессы и характеристики. – М.: Машиностроение, 1990. – 272с.

3.1.5. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы / Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов и др. - М.: Машиностроение, 1982. - 423 с.

3.1.6. Стесин С.П., Яковенко Е.А. Лопастные машины и гидродинамические передачи: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1990. – 239 с.

3.1.7. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры :Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 415 с.

3.1.8. Орлов, Ю.М. Объемные гидравлические машины: конструкция, проектирование, расчет / Ю.М. Орлов, М.: Машиностроение, 1986, 222 с.

3.1.9. Орлов, Ю.М. Объемные гидромашины с золотниковым распределением: Учеб.пособие / Ю.М. Орлов; Пермь: Пермский политехнический институт, 2001, 115 с.: ил.

3.1.10. Дмитриев В.Н., Градецкий В.Г. Основы пневмоавтоматики. М.: Машиностроение, 1973. - 360с.

3.1.11. Монтаж, наладка и эксплуатация пневматических приводов и устройств / А.И.Кудрявцев, А.П.Пятидверный, Е.А.Рагулин. - М.: Машиностроение, 1990. - 208с.

3.1.12. Заславский, Ю.С. Новое в трибологии смазочных материалов/ Ю.С. Заславский, В.С. Артемьева, М.: Нефть и газ, 2001, 478 с.

3.1.13. Трение, износ и смазка: Трибология и триботехника / А. В. Чичинадзе, Э. М. Берлинер, Э. Д. Браун и др.; Под общ.ред. А. В. Чичинадзе, М.: Машиностроение, 2003, 575 с.

3.1.14. Крагельский И.В., Добычин М.И., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977.

3.1.15. Гуреев Д.Н., Фукс И.Г., Лашхи В.Л. Химмотология. –М.: Химия, 1986

#### 3.2 Дополнительная литература

3.2.1. Фокс, Д.А. Гидравлический анализ неустановившегося течения в трубопроводах / Д.А. Фокс; пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 248 с.

3.2.2. Темнов, В.К. Нестационарное движение жидкости в напорных гидросистемах: учебное пособие / В.К. Темнов. – Челябинск: Изд-во ЧГТУ, 1994. – 132с.

3.2.3 Атлас конструкций гидромашин и гидропередач : учеб.пособие для машиностр. спец. вузов / сост.: Б.М. Бим-Бад, М.Г. Кабаков, С.П. Стесин. – М.: ИНФРА-М, 2004. – 136 с.

3.2.4. Зайченко, И.З. Пластинчатые насосы и гидромоторы / И.З. Зайченко, Л.М. Мышлевский, М.: Машиностроение, 1970, 231 с.

3.2.5. Объемные гидравлические приводы / Т.М. Башта, И.З. Зайченко, В.В. Ермаков, Е.М. Хаймович; под ред. Т.М. Башты, М.: Машиностроение, 1969, 628 с.

3.2.6. Рыбкин, Е.А. Шестеренные насосы для металлорежущих станков / Е.А. Рыбкин, А.А. Усов - М.: Машгиз, 1960 - 187 с.

3.2.7. Головин В.В. Аналоговые пневматические устройства. - М.: Машиностроение. 1980. - 156с.

3.2.8. Ибрагимов И.А., Фарзана Н.Г., Илясов Л.В. Элементы и системы пневмоавтоматики. - М.:Высш.школа, 1985. - 544с.

3.2.9. Заславский Ю.С. Трибология смазочных материалов.- Химия, 1991.

3.2.10. Розенберг Ю.А. Влияние смазочных масел на долговечность и надежность деталей машин. – М.: Машиностроение, 1970.

#### **4. Условия допуска к экзамену**

К сдаче кандидатских экзаменов допускаются аспиранты, а также лица, имеющие высшее образование, подтвержденное дипломом специалиста или магистра, прикрепленные для подготовки диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, сдачи кандидатских экзаменов без освоения программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре.

#### **5. Процедура проведения экзамена**

Экзамен проводится в устной форме с обязательным составлением развернутых ответов на специально подготовленных для этого бланках. В каждом билете содержится по три вопроса. Для ответа на билеты аспиранту/соискателю предоставляется возможность подготовки в течение 1 часа. На экзамене аспиранту/соискателю предоставляется право пользоваться необходимыми справочными материалами, учебной и научной литературой. Продолжительность устного ответа на экзамене, как правило, не должна превышать 30 минут. После ответа на основные вопросы аспиранту/соискателю задаются дополнительные вопросы в рамках тематики программы экзамена. Результаты кандидатского экзамена объявляются аспиранту/соискателю в тот же день после оформления протоколов заседания комиссии.