

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЛУГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»

Институт транспорта и логистики

Кафедра гидрогазодинамики

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института
транспорта и логистики

Быкадоров В.В.



«26» 02

2025 года

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по учебной дисциплине

«Нестационарные процессы в гидропневмосистемах»

01.03.03 Механика и математическое моделирование

«Механика деформируемых тел и сред»

Разработчик:

канд. техн. наук, доцент Мальцев Я.И. Мальцев Я.И.

ФОС рассмотрен и одобрен на заседании кафедры гидрогазодинамика

от «14» января 2025г., протокол №3

Заведующий кафедрой Мальцев Я.И. Мальцев Я.И.

Луганск – 2025 г.

**Комплект оценочных материалов по дисциплине
«Нестационарные процессы в гидропневмосистемах»**

Задания закрытого типа

Задания закрытого типа на выбор правильного ответа

1. Выберите один правильный ответ

Что характеризует дроссель с нелинейной характеристикой:

- А) линейная зависимость расхода от перепада давления
- Б) нелинейная зависимость расхода от перепада давления
- В) постоянное гидравлическое сопротивление
- Г) отсутствие гидравлического сопротивления

Правильный ответ: Б

Компетенции (индикаторы): ОПК-3

2. Выберите один правильный ответ

Какова основная функция емкости в пневмогидравлической системе:

- А) увеличение скорости потока
- Б) сглаживание пульсаций давления
- В) создание гидравлического сопротивления
- Г) преобразование энергии

Правильный ответ: Б

Компетенции (индикаторы): ОПК-3

3. Выберите один правильный ответ

Какой вид регулирования используется в силовой части гидропривода с объемным регулированием:

- А) регулирование давления переливным клапаном
- Б) регулирование температуры рабочей жидкости
- В) регулирование подачи насоса
- Г) регулирование расхода дросселем

Правильный ответ: В4

Компетенции (индикаторы): ОПК-3

4. Выберите один правильный ответ

Какие параметры учитываются при моделировании переливного клапана:

- А) давление и расход
- Б) только расход
- В) только температура
- Г) только давление

Правильный ответ: А

Компетенции (индикаторы): ОПК-3

Задания закрытого типа на установление соответствия

1. Установите правильное соответствие. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

- | | |
|---|---|
| 1) Дроссель с нелинейной характеристикой | А) Сглаживание пульсаций давления |
| 2) Дроссель с линеаризованной характеристикой | Б) Нелинейная зависимость расхода от перепада давления |
| 3) Емкость | В) Линейная зависимость расхода от перепада давления в определенном диапазоне |
| 4) Трубопровод | Г) Потери давления и инерционность жидкости |

Правильный ответ:

1	2	3	4
Б	В	А	Г

Компетенции (индикаторы): ОПК-3

2. Установите правильное соответствие. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1) Акустический четырехполюсник | А) Зависимость амплитуды и фазы выходного сигнала от частоты входного сигнала |
| 2) Частотная характеристика | Б) Частота, на которой амплитуда колебаний в системе достигает максимального значения |
| 3) Импеданс | В) Математическая модель, описывающая связь между входными и выходными параметрами системы (давлением и расходом) |
| 4) Резонансная частота | Г) Комплексное сопротивление элемента системы переменному потоку энергии |

Правильный ответ:

1	2	3	4
В	А	Г	Б

Компетенции (индикаторы): ОПК-3

3. Установите правильное соответствие. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

- | | |
|--|--|
| 1) Электромеханический преобразователь | А) Устройство, увеличивающее мощность гидравлического сигнала |
| 2) Гидравлический усилитель | Б) Элемент, распределяющий поток рабочей жидкости в гидроприводе |
| 3) Золотник | В) Преобразует электрический сигнал в гидравлический |
| 4) Силовая часть гидропривода | Г) Исполнительный механизм, преобразующий гидравлическую энергию в механическую работу |

Правильный ответ:

1	2	3	4
В	А	Б	Г

Компетенции (индикаторы): ОПК-3

4. Установите правильное соответствие. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

- | | |
|------------------------------|---|
| 1) Переливной клапан | А) Клапан, управляемый дополнительным элементом |
| 2) Клапан прямого действия | Б) Клапан, поддерживающий заданное давление в системе |
| 3) Клапан непрямого действия | В) Область параметров, в которой клапан не реагирует на изменения |
| 4) Зона нечувствительности | Г) Клапан, управляемый непосредственно давлением жидкости |

Правильный ответ:

1	2	3	4
В	Г	А	Б

Компетенции (индикаторы): ОПК-3

Задания закрытого типа на установление правильной последовательности

1. Установите правильную последовательность этапов моделирования трубопровода методом характеристик:

- А) дискретизация трубопровода на участки
- Б) запись уравнений характеристик для каждого участка
- В) решение системы уравнений характеристик
- Г) определение граничных условий

Правильный ответ: А, Г, Б, В

Компетенции (индикаторы): ОПК-3

2. Установите правильную последовательность этапов расчета колебательных процессов в трубопроводной системе импедансным методом:

- А) определение импедансов отдельных элементов системы
- Б) составление схемы замещения системы
- В) расчет общей передаточной функции системы
- Г) анализ частотных характеристик системы

Правильный ответ: Б, А, В, Г

Компетенции (индикаторы): ОПК-3

3. Установите правильную последовательность этапов создания математической модели гидропривода с управлением от оператора:

- А) составление уравнений, описывающих поведение золотника
- Б) определение параметров системы (характеристики золотника, гидроцилиндра, насоса)
- В) составление уравнений, описывающих поведение гидроцилиндра
- Г) соединение уравнений в общую систему, описывающую поведение привода

Правильный ответ: Б, А, В, Г

Компетенции (индикаторы): ОПК-3

4. Установите правильную последовательность шагов создания математической модели переливного клапана:

- А) определение основных параметров клапана (площадь седла, жесткость пружины)
- Б) составление уравнений, описывающих силы, действующие на клапан
- В) определение зависимости расхода от давления
- Г) соединение уравнений в общую систему, описывающую поведение клапана

Правильный ответ: А, Б, В, Г

Компетенции (индикаторы): ОПК-3

Задания открытого типа

Задания открытого типа на дополнение

1. Напишите пропущенное слово (словосочетание).

В дросселе с _____ характеристикой расход нелинейно зависит от перепада давления.

Правильный ответ: нелинейной.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3

2. Напишите пропущенное слово (словосочетание).

Емкость в пневмогидравлической системе служит для сглаживания _____.

Правильный ответ: пульсаций давления.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3

3. Напишите пропущенное слово (словосочетание).

Импедансный метод позволяет рассчитать _____ процессы в трубопроводных системах.

Правильный ответ: колебательные.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3

4. Напишите пропущенное слово (словосочетание).

Модель пневмопривода описывает давление в цилиндре и _____ поршня.

Правильный ответ: перемещение.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3

Задания открытого типа с кратким свободным ответом

1. Трубопровод представляется как _____ для анализа частотных характеристик.

Правильный ответ: акустический четырехполюсник.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3

2. Частотные характеристики соединений трубопроводов характеризуют их влияние на передачу _____.

Правильный ответ: колебаний давления и расхода.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3

3. При моделировании электромеханического преобразователя необходимо учитывать _____.

Правильный ответ: ток и перемещение.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3

4. При моделировании переливного клапана учитываются _____.

Правильный ответ: давление и расход.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3

Задания открытого типа с развернутым ответом

1. Дроссель с переменным гидравлическим сопротивлением:

Дан дроссель с переменным гидравлическим сопротивлением, где расход Q зависит от перепада давления Δp и управляющего сигнала x (например, перемещения золотника). Считайте жидкость несжимаемой.

Требуется описать линеаризованную математическую модель для небольших отклонений от рабочей точки (x_0 , Q_0 , Δp_0) дросселя с переменным гидравлическим сопротивлением.

Привести расширенное решение.

Время выполнения – 45 мин.

Ожидаемый результат:

Общая модель: Расход через дроссель можно представить как: $Q = f(x, \Delta p)$.

Часто используется следующая зависимость (для гидродросселя): $Q = Cx(\Delta p)^{0.5}$, где C - коэффициент, зависящий от геометрии дросселя. При $x < 0$, $Q = 0$. Это упрощенная модель.

Разложим функцию $f(x, \Delta p)$ в ряд Тейлора в окрестности рабочей точки $(x_0, \Delta p_0)$ и

ограничимся линейными членами: $Q \approx Q_0 + \left(\frac{\partial Q}{\partial x}\right)_0 (x - x_0) + \left(\frac{\partial Q}{\partial \Delta p}\right)_0 (\Delta p - \Delta p_0)$

где $\left(\frac{\partial Q}{\partial x}\right)_0$ и $\left(\frac{\partial Q}{\partial \Delta p}\right)_0$ - частные производные, вычисленные в рабочей точке.

Вычисление частных производных:

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial x}\right)_0 = C(\Delta p_0)^{0.5}$$

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial \Delta p}\right)_0 = \frac{1}{2} Cx_0 (\Delta p_0)^{-0.5}$$

Подставляем частные производные в линеаризованную модель:

$$Q \approx Q_0 + C(\Delta p_0)^{0.5} (x - x_0) + \frac{1}{2} Cx_0 (\Delta p_0)^{-0.5} (\Delta p - \Delta p_0)$$

Обозначим $\Delta Q = Q - Q_0$, $\Delta x = x - x_0$, $\Delta \Delta p = \Delta p - \Delta p_0$,

$$\text{тогда: } \Delta Q \approx C(\Delta p_0)^{0.5} \Delta x + \frac{1}{2} Cx_0 (\Delta p_0)^{-0.5} \Delta \Delta p$$

Можно переписать как: $\Delta Q \approx kx \Delta x + k_p \Delta \Delta p$,

где $kx = C(\Delta p_0)^{0.5}$ - коэффициент усиления по управляющему сигналу,

$k_p = \frac{1}{2} Cx_0 (\Delta p_0)^{-0.5}$ - коэффициент усиления по давлению.

Линеаризованная модель представляет собой линейную зависимость расхода от изменений управляющего сигнала и перепада давления. Коэффициенты усиления зависят от рабочей точки и определяют чувствительность расхода к изменениям управляющего сигнала и перепада давления. Такая модель справедлива для небольших отклонений от рабочей точки.

Ответ: $\Delta Q \approx kx \Delta x + k_p \Delta \Delta p$, $kx = C(\Delta p_0)^{0.5}$, $k_p = \frac{1}{2} Cx_0 (\Delta p_0)^{-0.5}$.

Критерии оценивания:

– нахождение линеаризованной математической модели для небольших отклонений от рабочей точки $(x_0, Q_0, \Delta p_0)$ дросселя с переменным гидравлическим сопротивлением.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3

2. Частотные характеристики трубопровода:

Дан трубопровод длиной L и площадью поперечного сечения A , соединяющий источник давления с потребителем. Источник давления создает гармоническое

колебание давления $p_{in}(t) = P_0 + P_1 \sin(\omega t)$. Предполагая, что трубопровод можно рассматривать как акустический четырехполюсник. Пренебрегите вязкостью.

Определить частотную характеристику передачи давления (отношение амплитуды выходного давления к амплитуде входного давления).

Привести расширенное решение.

Время выполнения – 45 мин.

Ожидаемый результат:

Уравнения акустического четырехполюсника: Предполагаем, что можем описать систему как:

$$\begin{aligned} p_{in} &= A p_{out} + B Q_{out} \\ Q_{in} &= C p_{out} + D Q_{out} \end{aligned}$$

где A, B, C, D - параметры четырехполюсника, зависящие от частоты и геометрии трубопровода, p_{in} и Q_{in} - давление и расход на входе, p_{out} и Q_{out} - давление и расход на выходе.

Уравнение распространения волн давления: В трубопроводе без вязкости распространяются волны давления, описываемые волновым уравнением:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = 0, \text{ где } c - \text{ скорость звука в жидкости.}$$

Решение волнового уравнения: Решение этого уравнения имеет

вид: $p(x, t) = P^+ e^{j(\omega t - kx)} + P^- e^{j(\omega t + kx)}$, где $k = \frac{\omega}{c}$ - волновое число, P^+ и P^- -

амплитуды волн, распространяющихся в прямом и обратном направлениях.

Граничные условия: На входе ($x=0$): $p(0, t) = p_{in}(t)$. На выходе ($x=L$):

Зададим граничное условие для простоты: $Q_{out} = 0$ (закрытый конец). Это соответствует случаю, когда потребитель имеет очень высокое гидравлическое сопротивление.

Тогда скорость, а значит и расход на выходе равны нулю.

Определение параметров четырехполюсника: Из решения волнового уравнения и граничных условий можно определить параметры A, B, C, D:

$$\begin{aligned} A &= \cos(kL) \\ B &= j \left(\frac{\rho c}{A} \right) \sin(kL) \\ C &= j \left(\frac{A}{\rho c} \right) \sin(kL) \\ D &= \cos(kL) \end{aligned}$$

Передаточная функция: Нужна передаточная функция по давлению $\frac{p_{out}}{p_{in}}$. Из первого уравнения четырехполюсника и граничного условия

$$Q_{\text{out}} = 0: p_{\text{in}} = A \cdot p_{\text{out}} + B \cdot 0 \Rightarrow p_{\text{out}} = \frac{p_{\text{in}}}{A}.$$

Передаточная

функция:

$$H(\omega) = \frac{p_{\text{out}}}{p_{\text{in}}} = \frac{1}{A} = \frac{1}{\cos(kL)} = \frac{1}{\cos\left(\frac{\omega L}{c}\right)}.$$

Частотная характеристика передачи давления имеет вид $H(\omega) = \frac{1}{\cos\left(\frac{\omega L}{c}\right)}$.

Амплитуда выходного давления может значительно превышать амплитуду входного давления при частотах, близких к резонансным $\omega L / c = \frac{(2n+1)\pi}{2}$, где

n - целое число). На этих частотах $\cos\left(\frac{\omega L}{c}\right)$ стремится к нулю, а $H(\omega)$ - к бесконечности (в идеальном случае без потерь).

Ответ: $H(\omega) = \frac{1}{\cos\left(\frac{\omega L}{c}\right)}.$

Критерии оценивания:

– нахождение частотной характеристики передачи давления.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3

3. Гидропривод с дроссельным регулированием:

Имеется гидропривод с дроссельным регулированием, состоящего из насоса постоянной подачи Q_n , дросселя с переменным сопротивлением, и гидроцилиндра. Учесть сжимаемость жидкости в гидроцилиндре и инерционность поршня и нагрузки. Описать линейную математическую модель гидропривода с дроссельным регулированием.

Привести расширенное решение.

Время выполнения – 45 мин.

Ожидаемый результат:

Введем обозначения:

Q_n - подача насоса.

Q_d - расход через дроссель.

Q_c - расход в гидроцилиндр.

p_c - давление в гидроцилиндре.

V_c - объем гидроцилиндра.

β - объемный модуль упругости жидкости.

A_p - площадь поршня.

m - масса поршня и нагрузки.

x - перемещение поршня.

F_{ext} - внешняя сила нагрузки.

B - коэффициент вязкого трения.

Уравнение расхода:

$Q_n = Q_d + Q_c$ (расход насоса делится между дросселем и цилиндром)

$Q_d = Cx(p_n - p_c)^{0.5}$ (расход через дроссель, где p_n - давление насоса, x - управляющий сигнал)

$Q_c = A_p \frac{dx}{dt} + \frac{V_c}{\beta} \frac{dp_c}{dt}$ (расход в цилиндр идет на перемещение поршня и сжатие жидкости)

Уравнение движения поршня: $m \frac{d^2x}{dt^2} + B \frac{dx}{dt} = A_p p_c - F_{ext}$ (второй закон Ньютона для поршня)

Уравнение для объема гидроцилиндра: $V_c = V_0 + A_p x$, где V_0 - начальный объем.

Получаем систему уравнений:

$$Q_n = Cx(p_n - p_c)^{0.5} + A_p \frac{dx}{dt} + \frac{(V_0 + A_p x)}{\beta} \frac{dp_c}{dt}$$

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + B \frac{dx}{dt} = A_p p_c - F_{ext}$$

Эта система уравнений описывает динамику гидропривода с дроссельным регулированием. Она учитывает нелинейность дросселя, сжимаемость жидкости и инерционность поршня. Решение этой системы позволяет исследовать переходные процессы и устойчивость системы.

Ответ:

$$Q_n = Cx(p_n - p_c)^{0.5} + A_p \frac{dx}{dt} + \frac{(V_0 + A_p x)}{\beta} \frac{dp_c}{dt}$$
$$m \frac{d^2x}{dt^2} + B \frac{dx}{dt} = A_p p_c - F_{ext}$$

Критерии оценивания:

– нахождение уравнений линейной математической модели гидропривода с дроссельным регулированием.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3

4. Электромеханический преобразователь с гидравлическим усилителем:

Требуется составить математическую модель электромеханического преобразователя (ЭМП) с гидравлическим усилителем (ГУ), где электрический сигнал (ток i) управляет положением золотника (x), который в свою очередь управляет давлением в гидроцилиндре (p_c). Модель включает в себя электрическую цепь ЭМП, механическую систему золотника и гидравлический усилитель.

Привести расширенное решение.

Время выполнения – 45 мин.

Ожидаемый результат:

Запишем уравнения математической модели для составных частей системы:

Электрическая цепь ЭМП:

$$U = iR + L \frac{di}{dt} + E(x),$$

где U - напряжение питания, R - сопротивление катушки, L - индуктивность катушки, $E(x)$ - ЭДС, зависящая от положения золотника (x), i - ток.

Механическая система золотника:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + B \frac{dx}{dt} + kx = F_m(i),$$

где m - масса золотника, B - коэффициент вязкого трения, k - жесткость пружины, $F_m(i)$ - электромагнитная сила, зависящая от тока (i).

Электромагнитная сила и ЭДС:

$$F_m(i) = K_f \cdot i, \quad E(x) = K_e \cdot \frac{dx}{dt},$$

где K_f - коэффициент силы, K_e - коэффициент ЭДС.

Гидравлический усилитель (упрощенно):

$Q_c = f(x, p_c)$ - расход в гидроцилиндр, зависящий от положения золотника и давления.

Линеаризуем: $\Delta Q_c \approx k_x \Delta x + k_p \Delta p_c$.

Гидроцилиндр: $A_p \frac{dx_L}{dt} = Q_c$, где A_p - площадь поршня, $\frac{dx_L}{dt}$ - скорость поршня

гидроцилиндра.

Объединенная система:

$$\begin{aligned} U &= iR + L \frac{di}{dt} + K_e \frac{dx}{dt} \\ m \frac{d^2x}{dt^2} + B \frac{dx}{dt} + kx &= K_f i \\ A_p \frac{dx_L}{dt} &= Q_c = Q_{c0} + kx(x - x_0) + k_p(p_c - p_{c0}) \end{aligned}$$

Ответ:

$$\begin{aligned} U &= iR + L \frac{di}{dt} + K_e \frac{dx}{dt} \\ m \frac{d^2x}{dt^2} + B \frac{dx}{dt} + kx &= K_f i \\ A_p \frac{dx_L}{dt} &= Q_c = Q_{c0} + kx(x - x_0) + k_p(p_c - p_{c0}) \end{aligned}$$

Критерии оценивания:

—составление математической модели электромеханического преобразователя с гидравлическим усилителем.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3

Экспертное заключение

Представленный фонд оценочных средств (далее - ФОС) по дисциплине «Нестационарные процессы в гидроневмосистемах» соответствует требованиям ГОС ВО.

Предлагаемые формы и средства текущего и промежуточного контроля адекватны целям и задачам реализации основной образовательной программы по направлению подготовки 01.03.03 Механика и математическое моделирование.

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающегося представлены в полном объеме.

Виды оценочных средств, включенные в представленный фонд, отвечают основным принципам формирования ФОС.

Разработанный и представленный для экспертизы фонд оценочных средств рекомендуется к использованию в процессе подготовки бакалавров, по указанному направлению.

Председатель учебно-методической
комиссии института транспорта и логистики



Е.И. Иванова

Форма листа изменений и дополнений, внесенных в ФОС

Лист изменений и дополнений

№ п/п	Виды дополнений и изменений	Дата и номер протокола заседания кафедры (кафедр), на котором были рассмотрены и одобренны изменения и дополнения	Подпись (с расшифровкой) заведующего кафедрой (заведующих кафедрами)