

ПРИЛОЖЕНИЕ А
ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «Теория и системы управления»

1. Перечень оценочных средств для компетенций, формируемых в результате освоения дисциплины

Код контролируемой компетенции	Способ оценивания	Оценочное средство
ОПК-3: Способен использовать фундаментальные знания для решения базовых задач управления в технических системах с целью совершенствования в профессиональной деятельности	Экзамен	Комплект контролирующих материалов для экзамена
ОПК-4: Способен осуществлять оценку эффективности систем управления, разработанных на основе математических методов	Экзамен	Комплект контролирующих материалов для экзамена

2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания

Оцениваемые компетенции представлены в разделе «Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций» рабочей программы дисциплины «Теория и системы управления».

При оценивании сформированности компетенций по дисциплине «Теория и системы управления» используется 100-балльная шкала.

Критерий	Оценка по 100-балльной шкале	Оценка по традиционной шкале
Студент освоил изучаемый материал (основной и дополнительный), системно и грамотно излагает его, осуществляет полное и правильное выполнение заданий в соответствии с индикаторами достижения компетенций, способен ответить на дополнительные вопросы.	75-100	<i>Отлично</i>
Студент освоил изучаемый материал, осуществляет выполнение заданий в соответствии с индикаторами достижения компетенций с не принципиальными ошибками.	50-74	<i>Хорошо</i>
Студент демонстрирует освоение только основного материала, при выполнении заданий в соответствии с индикаторами достижения компетенций допускает отдельные ошибки, не способен систематизировать материал и делать выводы.	25-49	<i>Удовлетворительно</i>
Студент не освоил основное	<25	<i>Неудовлетворительно</i>

содержание изучаемого материала, задания в соответствии с индикаторами достижения компетенций не выполнены или выполнены неверно.		
---	--	--

3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки уровня достижения компетенций в соответствии с индикаторами

1. Модальный синтез многосвязных систем.

Компетенция	Индикатор достижения компетенции
ОПК-3 Способен использовать фундаментальные знания для решения базовых задач управления в технических системах с целью совершенствования в профессиональной деятельности	ОПК-3.1 Способен решать задачи управления в технических системах
ОПК-4 Способен осуществлять оценку эффективности систем управления, разработанных на основе математических методов	ОПК-4.2 Способен оценивать эффективность системы управления по заданным критериям

Кейс 1

Решить задачу управления в технической системе и оценить эффективность системы управления по заданным критериям – показателям качества.

Рассматривается объект управления - боковое движение самолета, описываемое системой уравнений

$$\dot{x} = Ax + Bu,$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0,098 & 0 & 0,038 & 0,75 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -0,089 & 0 & -1,52 & -3,4 \\ 0 & 1 & 0,38 & 0,11 & -0,09 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -0,63 & -0,16 \\ 0 & 0 \\ 0,9 & -2,3 \\ -0,016 & 0 \end{bmatrix}, \text{ где}$$

$x_1 = \tilde{\psi}$ - отклонение угла курса (рад), $x_3 = \tilde{\gamma}$ - отклонение угла крена (рад), $x_5 = \tilde{\beta}$ - отклонение угла курса (рад), $x_2 = \tilde{\omega}_y$, $x_4 = \tilde{\omega}_x$ - проекции вектора угловой скорости и на связанные оси координат (рад/с). Вектор управления состоит из угла отклонения руля направления $u_1 = \tilde{\delta}_H$, $u_2 = \tilde{\delta}_3$.

Необходимо построить стабилизирующее управление в виде обратной связи по состоянию. Зададим желаемые собственные числа матрицы замкнутой системы все равными «-2». Для вычисления матрицы обратной связи применить функцию `prol` пакета Scilab.

Промоделировать замкнутую систему управления при начальном состоянии $x = [0 \ 0 \ 0,01 \ 0 \ 0]^T$ и проанализировать показатели качества переходных процессов по построенным графикам.

2. Модальный синтез многосвязных систем.

Компетенция	Индикатор достижения компетенции
ОПК-3 Способен использовать фундаментальные знания для решения базовых задач управления в	ОПК-3.1 Способен решать задачи управления в технических системах

технических систем с целью совершенствования в профессиональной деятельности	
ОПК-4 Способен осуществлять оценку эффективности систем управления, разработанных на основе математических методов	ОПК-4.2 Способен оценивать эффективность системы управления по заданным критериям

Кейс 2

Решить задачу управления в технической системе и оценить эффективность системы управления по заданным критериям – показателям качества.

Рассматривается объект управления - боковое движение самолета, описываемое системой уравнений

$$\dot{x} = Ax + Bu,$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0,098 & 0 & 0,038 & 0,75 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -0,089 & 0 & -1,52 & -3,4 \\ 0 & 1 & 0,38 & 0,11 & -0,09 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -0,63 & -0,16 \\ 0 & 0 \\ 0,9 & -2,3 \\ -0,016 & 0 \end{bmatrix}, \text{ где}$$

$x_1 = \tilde{\psi}$ - отклонение угла курса (рад), $x_3 = \tilde{\gamma}$ - отклонение угла крена (рад), $x_5 = \tilde{\beta}$ - отклонение угла курса (рад), $x_2 = \tilde{\omega}_y$, $x_4 = \tilde{\omega}_x$ - проекции вектора угловой скорости и на связанные оси координат (рад/с). Вектор управления состоит из угла отклонения руля направления $u_1 = \tilde{\delta}_n$, $u_2 = \tilde{\delta}_3$.

Предполагается, что измерению доступны только угол курса и угол крена. Следовательно, вектор измерений

$$y = Cx,$$

имеет следующую матрицу

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Системы при ней наблюдаема. Используя функцию `prol` пакета Scilab, рассчитайте матрицу коэффициентов наблюдателя из условия, что все собственные числа матрицы $A+LC$ равны -3. Матрица обратной связи для исходной системы уже найдена и равна:

$$F = \begin{bmatrix} 3,43 & 6,72 & 1,44 & 0,70 & 1,67 \\ -7,22 & 2,71 & 4,79 & 2,22 & 8,19 \end{bmatrix}.$$

На основе матрицы обратной связи F и матрицы коэффициентов наблюдателя L постройте замкнутую систему управления с наблюдателем. Про моделируйте ее работу с начальными условиями $x = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0,01]^T$.

Проанализируйте показатели качества переходных процессов, используя построенные графики, по углу скольжения и оценки угла скольжения.

3. Синтез ПИД-регулятора по заданным полюсам передаточной функции.

Компетенция	Индикатор достижения компетенции
ОПК-3 Способен использовать фундаментальные знания для решения базовых задач управления в технических системах с целью	ОПК-3.1 Способен решать задачи управления в технических системах

совершенствования в профессиональной деятельности	
ОПК-4 Способен осуществлять оценку эффективности разработанных на основе математических методов	ОПК-4.2 Способен оценивать эффективность системы управления по заданным критериям

Кейс 3

Решить задачу управления в технической системе и оценить эффективность системы управления по заданным критериям – показателям качества.

Рассматривается задача синтеза контроллера (регулятора) привода магнитной головки жесткого диска, схема которого показана на рис. 1

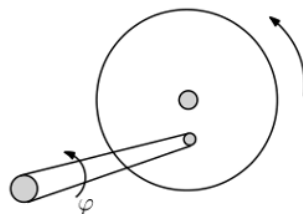


Рис.1. – Схема привода

Уравнение движения магнитной головки записи-считывания жесткого диска имеет следующий вид

$$J\ddot{\varphi} + c\dot{\varphi} + k_1\varphi = k_2I,$$

где φ - угловое положение магнитной головки, I – ток якоря двигателя, J – момент инерции магнитной головки, c – коэффициент вязкого трения, k_1 – коэффициент жесткости пружины, k_2 – моментный коэффициент двигателя. Значения параметров равны: $J=0,01$ кгм², $c=0,004$, $k_1=10$, $k_2=0,05$.

Построить контроллер в виде ПИД-регулятора. Задать желаемый характеристический многочлен замкнутой системы в виде многочлена 3-го порядка, все корни которого равны – 30.

Используя средства пакета Scilab, вычислить значения коэффициентов ПИД-регулятора. Построить по ним замкнутую систему управления и промоделировать ее с начальными условиями $\varphi(0) = 0$, $\dot{\varphi}(0) = 0$.

По графикам переходного процесса φ - углового положения магнитной головки оценить качество переходного процесса, по соответствующим показателям.

4. Синтез ПИД-регулятора по переходной функции.

Компетенция	Индикатор достижения компетенции
ОПК-3 Способен использовать фундаментальные знания для решения базовых задач управления в технических системах с целью совершенствования в профессиональной деятельности	ОПК-3.1 Способен решать задачи управления в технических системах
ОПК-4 Способен осуществлять оценку эффективности разработанных на основе математических методов	ОПК-4.2 Способен оценивать эффективность системы управления по заданным критериям

Кейс 4

Решить задачу управления в технической системе и оценить эффективность системы управления по заданным критериям – показателям качества.

Рассматривается прямолинейное движение автомобиля по наклонной поверхности, описываемое уравнением

$$m\dot{v} = -mgc_r v - \frac{1}{2} \rho c_d S v^2 - mg \sin \theta + F,$$

где v – скорость движения автомобиля, m – масса автомобиля; g – ускорение свободного падения; c_r – коэффициент трения качения; ρ – плотность атмосферы; c_d – коэффициент аэродинамического сопротивления; S – фронтальная площадь автомобиля; θ – угол наклона поверхности движения; F – движущая сила.

Задача управления заключается в обеспечении заданной скорости движения автомобиля. Учет динамику трансмиссии в виде инерционного звена первого порядка

$$T\dot{F} + F = ku.$$

Пусть $m=1500$ кг, $g=9,81$ м/с², $c_r=0.01$, $\rho=1.3$, $c_d=0.32$, $S=2.4$ м², $\theta=0.035$, $T=3$, $k=7000$.

Необходимо рассчитать коэффициенты ПИД-регулятора k_p , k_i , k_d по переходной функции системы (метод Циглера-Никольса).

Построить замкнутую систему управления и используя средства пакета Scilab, промоделировать ее с начальными условиями $v(0) = 0$.

По графикам переходного процесса v – скорости движения автомобиля оценить качество переходного процесса.

5. Синтез ПИД-регулятора по заданным полюсам передаточной функции.

Компетенция	Индикатор достижения компетенции
ОПК-3 Способен использовать фундаментальные знания для решения базовых задач управления в технических системах с целью совершенствования в профессиональной деятельности	ОПК-3.1 Способен решать задачи управления в технических системах
ОПК-4 Способен осуществлять оценку эффективности систем управления, разработанных на основе математических методов	ОПК-4.2 Способен оценивать эффективность системы управления по заданным критериям

Кейс 5

Решить задачу управления в технической системе и оценить эффективность системы управления по заданным критериям – показателям качества.

Динамика электропривода с электродвигателем постоянного тока (рис.1) описывается уравнениями

$$\begin{aligned}\dot{\varphi} &= \omega, \\ J\dot{\omega} &= -k_1\omega + k_2I + M_c, \\ LI + RI &= u - k_3\omega,\end{aligned}$$

где φ - угол поворота вала двигателя (рад), ω - угловая скорость вала двигателя (рад/с), I – сила тока (А), u – управляющее напряжение (В), J – момент инерции, приведенный к валу двигателя ($\text{кг}\cdot\text{м}^2$), L – индуктивность якорной цепи (Гн), R – сопротивление якорной цепи (Ом), M_c – момент внешних сил (Н·м), k_1, k_2, k_3 – конструктивные параметры.

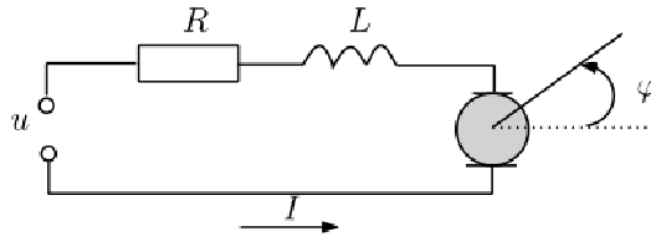


Рис. 1 - Электропривод

Описание электропривода как объекта управления в пространстве состояний, имеет вид

$$\begin{aligned}\dot{x} &= Ax + Bu, \\ y &= Cx + Du.\end{aligned}$$

Вектор состояния

$$x = \begin{bmatrix} \varphi \\ \omega \\ I \end{bmatrix}. \text{ Выход системы } y = \varphi. \text{ Матрицы системы равны}$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -\frac{k_1}{J} & \frac{k_2}{J} \\ 0 & -\frac{k_3}{L} & -\frac{R}{L} \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{L} \end{bmatrix}, \quad C = [1 \ 0 \ 0], \quad D = [0]$$

Значения параметров заданы: $J=0,68$; $R=0,45$; $L=0,0052$; $k_1=7,5$; $k_2=7,14$; $k_3=0,098$.

Задача регулирования состоит в поддержании постоянной угловой скорости ($\omega=300$) при воздействии внешней нагрузки ($M_c=14$).

Используя средства пакета Scilab необходимо рассчитать коэффициенты ПИД-регулятора заданным полюсам замкнутой системы.

Построить замкнутую систему управления и используя средства пакета Scilab, промоделировать ее с начальными условиями $\varphi(0) = 0$, $\omega(0) = 0$, $I(0) = 0.5$.

По графикам переходных процессов вектора состояния системы оценить качество переходного процесса.

6. Синтез ПИД-регулятора по переходной функции.

Компетенция	Индикатор достижения компетенции
ОПК-3 Способен использовать фундаментальные знания для решения базовых задач управления в технических системах с целью совершенствования в профессиональной деятельности	ОПК-3.1 Способен решать задачи управления в технических системах
ОПК-4 Способен осуществлять оценку эффективности систем управления, разработанных на основе математических методов	ОПК-4.2 Способен оценивать эффективность системы управления по заданным критериям

Кейс 6

Решить задачу управления в технической системе и оценить эффективность системы управления по заданным критериям – показателям качества.

Рассматривается объект управления магнитная подвеска (рис. 1). Ток в электромагните создает электромагнитную силу, которая действует на шар. Задача управления заключается в удержании шара на заданной высоте. Электромагнитная сила пропорциональна квадрату силы тока и обратно пропорциональна расстоянию шара от электромагнита. Динамика системы описывается уравнениями:

$$m\ddot{y} = mg - \frac{kI^2}{y},$$

$$L\dot{I} + RI = u,$$

где y – смещение шара по отношению к электромагниту (м), I – сила тока (А), u – входное напряжение (В), R – сопротивление электрической цепи (Ом), L – индуктивность электрической цепи (Гн), m – масса шара (кг), g – ускорение свободного падения (м/с^2)

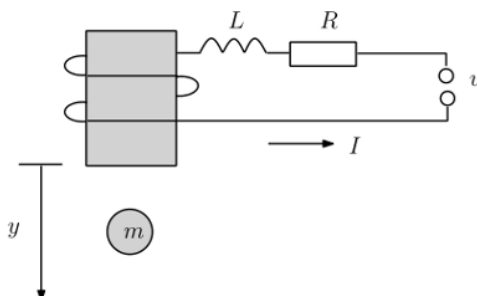


Рис. 1 – Магнитная подвеска

Объект управления является нелинейным. Значения параметров системы: $m=1.2$, $R=3$, $L=1.4$, $k=0.9$.

Задача управления заключается в поддержании шарика на определенной высоте при изменении входного напряжения.

Необходимо рассчитать коэффициенты ПИД-регулятора k_p , k_i , k_d по переходной функции системы (метод Циглера-Никольса).

Построить замкнутую систему управления и используя средства пакета Scilab, промоделировать ее с начальными условиями $y(0) = 0.01$, $\dot{y}(0) = 0$, $I(0) = 0.2$.

По графикам переходных процессов смещения шара оценить качество переходного процесса.

7. Оптимизация систем с обратной связью.

Компетенция	Индикатор достижения компетенции
ОПК-3 Способен использовать фундаментальные знания для решения базовых задач управления в технических системах с целью совершенствования в профессиональной деятельности	ОПК-3.1 Способен решать задачи управления в технических системах
ОПК-4 Способен осуществлять оценку эффективности систем управления, разработанных на основе математических методов	ОПК-4.2 Способен оценивать эффективность системы управления по заданным критериям

Кейс 7

Решить задачу управления в технической системе и оценить эффективность системы управления по заданным критериям – показателям качества.

Продольное движение самолета в отклонениях от заданной траектории полета описывается уравнением

$$\dot{x} = Ax + Cu + Kw,$$

где x – вектор состояния, u – управление, w – возмущение.

Вектор состояния включает следующие переменные:

$$x_1 = \theta - \text{отклонение угла наклона траектории (рад),}$$

$$x_2 = \mathcal{G} - \text{отклонение угла тангажа (рад),}$$

$$x_3 = \omega_z - \text{отклонение угловой скорости тангажа (рад/с),}$$

$$x_4 = H - \text{отклонение высоты (м).}$$

Управление осуществляется отклонением руля высоты $u = \delta_\delta$ (рад). В качестве внешнего возмущения рассматривается скорость вертикального ветра w (м/с)

Матрицы системы равны

$$A = \begin{bmatrix} -0,86 & 0,86 & 0 & 0,61 \cdot 10^{-3} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 4,85 & -4,85 & 0,777 & 0,12 \cdot 10^{-4} \\ 257 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad G = \begin{bmatrix} -0,0268 \\ 0 \\ -1,625 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad R = \begin{bmatrix} 0,0248 \\ 0 \\ 0,019 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Будем считать, что измеряются угол тангажа и высота:

$$y_1 = \mathcal{G} + \varepsilon_1, \quad y_2 = H + \varepsilon_2,$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – ошибки измерения.

Задача заключается в синтезе регулятора на основе критерия H_∞ , обеспечивающего оптимальную реакцию самолета по углу тангажа и высоте на произвольные изменения скорости ветра.

Используя средства пакета Scilab, найти управление в виде динамического регулятора. Построить замкнутую систему управления и используя средства пакета Scilab, выполнить ее моделирование.

По графикам переходных процессов состояния оценить качество переходного процесса системы управления.

8. Оптимизация систем с обратной связью.

Компетенция	Индикатор достижения компетенции
ОПК-3 Способен использовать фундаментальные знания для решения базовых задач управления в технических системах с целью совершенствования в профессиональной деятельности	ОПК-3.1 Способен решать задачи управления в технических системах
ОПК-4 Способен осуществлять оценку эффективности систем управления, разработанных на основе математических методов	ОПК-4.2 Способен оценивать эффективность системы управления по заданным критериям

Кейс 8

Решить задачу управления в технической системе и оценить эффективность системы управления по заданным критериям – показателям качества.

Рассматривается задача управления подвеской транспортного средства система описывается уравнениями

$$m_1 \frac{d^2 h_1}{dt^2} = -k_1(h_1 - h_0) + k_2(h_2 - h_1) + b \left(\frac{dh_2}{dt} - \frac{dh_1}{dt} \right) - F,$$

$$m_2 \frac{d^2 h_2}{dt^2} = -k_2(h_2 - h_1) - b \left(\frac{dh_2}{dt} - \frac{dh_1}{dt} \right) + F,$$

где h_1 - вертикальное перемещение колеса (м), h_2 - вертикальное перемещение корпуса (м), h_0 - уровень поверхности (м), F - управляющая сила (Н), m_1 – масса колеса (кг), m_2 – масса корпуса в расчете на одно колесо (кг), k_1, k_2 – коэффициенты жесткости колеса и рессоры (Н/м), b – коэффициент демпфирования амортизатора (Нс/м).

Вектор управляемых переменных зададим в виде $z = \begin{bmatrix} r(h_2 - h_1) \\ F \end{bmatrix}$, где $r > 0$ – весовой коэффициент, в качестве измерений будем использовать разность перемещения масс

$$y = h_2 - h_1 + \varepsilon.$$

Данную систему можно записать в матричном виде

$$\dot{x} = Ax + B_1 v + B_2 u,$$

$$z = C_1 x + D_{12} u,$$

$$y = C_2 x + D_{21} v,$$

где x – вектор состояния, u – вектор управления, v – вектор возмущений (вход системы), z – вектор управляемых переменных (выход системы), y – вектор измерений.

$$x = \begin{bmatrix} h_1 \\ \frac{dh_1}{dt} \\ h_2 \\ \frac{dh_2}{dt} \end{bmatrix}, \quad v = \begin{bmatrix} h_0 \\ \varepsilon \end{bmatrix}, \quad u = F.$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{k_1+k_2}{m_1} & -\frac{b}{m_1} & \frac{k_2}{m_1} & \frac{b}{m_1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{k_2}{m_2} & \frac{b}{m_2} & -\frac{k_2}{m_2} & -\frac{b}{m_2} \end{bmatrix}, \quad B_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{k_1}{m_1} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ \frac{1}{m_2} \end{bmatrix},$$

$$C_1 = \begin{bmatrix} -r & 0 & r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad D_{11} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad D_{12} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad C_2 = [-1 \ 0 \ 1 \ 0], \quad D_{21} = [0 \ 1], \quad D_{22} = [0].$$

Данные для расчетов:

$$m_1=345, \quad m_2=2300, \quad k_1=510000, \quad k_2=78000, \quad b=320, \quad r=10^5.$$

Используя средства пакета Scilab, построить регулятор для системы, производя оптимизацию по критерию H_2 .

Построить замкнутую систему управления и используя средства пакета Scilab, выполнить ее моделирование.

По графикам переходных процессов состояния оценить качество переходного процесса системы управления.

4. Файл и/или БТЗ с полным комплектом оценочных материалов прилагается.

