Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»
Кафедра проектирования технологических машин

Паспорт
расчетно-графической работы

по дисциплине «Теория автоматического управления», 5 семестр

1. Методика оценки

Выполнение расчетно-графического работы (далее – РГР) является формой текущей аттестации (контроля) по дисциплине, предусмотренной учебным планом.

Цель РГР: студенты должны научиться выполнять анализ и синтез линейной и непрерывной системы автоматического управления третьего порядка с форсирующими свойствами.

Обязательным элементом РГР являются решение задачи анализа текущего состояния САУ и синтез последовательного корректирующего устройства.

Номер задания выдается преподавателем индивидуально. РГР выполняется индивидуально.

Количество заданий достаточно для обеспечения, каждого обучающегося индивидуальным заданием РГР.

Замена задания РГР осуществляется по согласованию с преподавателем из числа резервных (не занятых) заданий.

Перед выполнением задания студент должен ознакомиться с теоретическим материалом из рекомендованного преподавателем списка литературы.

Преподаватель осуществляет руководство по выполнению задания, оказывает консультационную помощь и принимает отчет по РГР.

По результатам выполнения РГР выполняется отчет, который состоит из следующих частей:

1. Титульный лист
2. Исходные данные
3. Анализ состояния САУ, включая устойчивость
4. Проверочное моделирование
5. Синтез последовательного корректирующего устройства
6. Проверочное моделирование
7. Заключение
8. Список литературы и источников

Требования к оформлению:

Объем РГР до 20 страниц машинописного текста формата А4. Шрифт Times New Roman, 12. Формулы набираются в редакторе Math Type. Размещение сканированных формул не допускается. Нумерация страниц сквозная, в нижней части листа по центру арабскими цифрами. Работа должна быть отредактирована, не содержать орфографических, синтаксических и стилевых ошибок.

Отчет в установленные сроки сдается на кафедру для проверки. Преподаватель оценивает качество работы, отмечает положительные стороны и недостатки работы и определяет, допускается ли она к защите. При необходимости преподаватель возвращает РГР студенту для доработки и устанавливает сроки повторного предоставления для

проверки. До защиты работы студентом должны быть сделаны необходимые исправления и дополнения по всем замечаниям преподавателя.

При положительном результате оценивания РГР студент её распечатывает, передает на кафедру и защищает до сессии в назначенное преподавателем время.

Защита РГР состоит в индивидуальном устном собеседовании студента с преподавателем. В процессе защиты выявляется уровень знаний студента, степень его самостоятельности при выполнении работы. По результатам защиты студенту выставляется оценка в соответствии с критериями, приведенными в п. 2 настоящего Паспорта.

2. Критерии оценки результатов обучения, соотнесенных с уровнями освоения индикаторов достижения компетенций

Общие правила выставления оценок текущей аттестации определяются балльно-рейтинговой системой, установленной локальным актом НГТУ.

РГР считается выполненной **на продвинутом** уровне, если все необходимые расчеты произведены самостоятельно и без ошибок; все разделы РГР выполнены правильно и в полном объеме; работа оформлена в соответствии с требованиями; сдана преподавателю в указанные сроки и не возвращалась для доработки; даны полные и развернутые выводы и рекомендации; на защите студентом даны уверенные и аргументированные ответы. Совокупность запланированных результатов и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций не содержит пробелов. Закрепленные за РГР компетенции сформированы на продвинутом уровне. Оценка составляет *от 28 до 30 баллов*.

РГР считается выполненной **на базовом** уровне, если все необходимые расчеты произведены самостоятельно и без существенных ошибок; все разделы РГР выполнены правильно, но есть замечания к полноте предоставления информации; работа оформлена в соответствии с требованиями; сдана преподавателю в указанные сроки и однократно возвращалась студенту для незначительной доработки; в заключении даны выводы и рекомендации; на защите студентом допущены непринципиальные ошибки. Совокупность запланированных результатов и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций содержит несущественные пробелы. Закрепленные за РГР компетенции сформированы на базовом уровне. Оценка составляет *от 24 до 27 баллов*.

РГР считается выполненной **на пороговом** уровне, если все необходимые расчеты произведены самостоятельно, но с ошибками, часть из которых носит принципиальный характер; есть замечания к полноте предоставления информации; работа оформлена в соответствии с требованиями; сдана преподавателю, но неоднократно возвращалась студенту для доработки; в заключении даны краткие выводы; защита РГР вызывает у студента серьезные затруднения. Совокупность запланированных результатов и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций содержит существенные пробелы. Закрепленные за РГР компетенции сформированы на пороговом уровне. Оценка составляет *от 20 до 23 баллов*.

РГР считается **не выполненной** (ниже порогового уровня), если расчеты произведены с серьезными ошибками; есть замечания к полноте предоставления информации и оформлению; РГР была сдана преподавателю, но неоднократно возвращалась студенту для доработки, что не привело к улучшению ее качества; РГР не допущена до защиты, что свидетельствует о неудовлетворительном уровне достигнутых студентом результатов. Совокупность запланированных результатов и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций содержит множественные существенные пробелы. Закрепленные за РГР компетенции не сформированы. Оценка составляет менее *20 баллов*.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за РГР учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

РГР как форма текущей аттестации (контроля) по дисциплине считается успешно выполненной, если сумма полученных баллов по всем его заданиям составляет от 15 до 30 баллов включительно.

4. Примерный перечень тем заданий РГР

1. Структура и параметры исходной нескорректированной САУ

Таблица 1

Алгебраические уравнения исходной САУ

№ варианта	Уравнения связей структурной схемы САУ			
1	$x_3 = v - y$	$x_4 = y_3$	$x_2 = y_4$	$x_1 = y_2 - f$
2	$x_3 = v - y$	$x_4 = v - y$	$x_2 = y_3 + y_4$	$x_1 = y_2 - f$
3	$x_3 = v - y$	$x_4 = y_3$	$x_2 = y_3 + y_4$	$x_1 = y_2 - f$
4	$x_3 = v - y$	$x_4 = x - y$	$x_2 = y_3$	$x_1 = (y_2 + y_4) - f$
5	$x_3 = v - y$	$x_4 = x_2 = y_3$	$x_4 = x_2 = y_3$	$x_1 = (y_2 + y_4) - f$
6	$x_3 = v - y$	$x_4 = y_2$	$x_2 = y_3 - y_4$	$x_1 = y_2 - f$
7	$x_3 = (v - y) - y_4$	$x_4 = y_2$	$x_2 = y_3$	$x_1 = y_2 - f$
8	$x_3 = v - y$	$x_4 = y_3 - y_2$	$x_2 = y_4$	$x_1 = y_2 - f$
9	$x_3 = v - y$	$x_4 = y_3 - y_4$	$x_2 = y_4$	$x_1 = y_2 - f$
10	$x_3 = (v - y) - y_4$	$x_4 = x_2 = y_3$	$x_4 = x_2 = y_3$	$x_1 = y_2 - f$

Таблица 2

Параметры динамических звеньев исходной САУ

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
k_1	1,3	1,5	1,3	1,2	1,8	1,2	1,2	1,8	1,7	1,5
τ_1	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
T_1	0,4	1,1	0,6	0,7	0,6	0,6	0,5	1,2	0,9	0,9
k_{01}	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
k_2	0,5	1,0	1,5	1,8	1,2	1,5	1,0	1,3	1,0	1,8
τ_2	1,0	1,0	0,5	0,5	1,0	0,4	0,0	1,0	0,7	0,8
T_2	0,2	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0
k_{02}	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0
k_3	0,5	1,5	1,9	1,4	1,5	1,4	1,6	1,3	1,2	1,0
T_3	0,0	0,2	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2
k_4	0,5	0,8	0,5	0,7	1,0	1,0	1,0	0,8	0,9	0,6
τ_4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0
T_4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0

Примечание: v – задающее воздействие; f – возмущающее воздействие; x_i – входная переменная i-го звена; y_i – выходная переменная i-го звена; $y = y_1$ – выходная (управляемая) переменная САУ.

Варианты табл. 1 и 2 для студентов заочной формы выбираются в соответствии с двумя последними цифрами шифра, а для студентов очной формы обучения выдаются преподавателем.

2. Система обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающая динамику звеньев исходной САУ:

$$T_1 \frac{d^2 y_1}{dt^2} + \frac{dy_1}{dt} = k_1 \left(\tau_1 \frac{dx_1}{dt} + k_{01} x_1 \right), \quad (1)$$

$$T_2 \frac{d^2 y_2}{dt^2} + \frac{dy_2}{dt} = k_2 \left(\tau_2 \frac{dx_2}{dt} + k_{02} x_2 \right), \quad (2)$$

$$T_3 \frac{dy_3}{dt} + y_3 = k_3 x_3, \quad (3)$$

$$T_4 \frac{dy_4}{dt} + y_4 = k_4 \left(\tau_4 \frac{dx_4}{dt} + x_4 \right). \quad (4)$$

3. Желаемые показатели качества переходных процессов и статическая точность регулирования:

– допустимая статическая (скоростная) ошибка регулирования $\Delta y_{\text{доп}}(\infty) = 0,001...0,005$;

– максимально-допустимое время регулирования $t_{\text{р}} = 0,5...1,5$ с;

– максимально-допустимое перерегулирование $\sigma_{\max}\% = (20\ldots30)\%$.

2. Порядок выполнения расчетно-графического задания

2.1. Анализ линейной непрерывной САУ

1.1. В соответствии с таблицей 1 составить структурную схему исходной нескорректированной САУ.

1.2. На основании дифференциальных уравнений (1)–(4) и таблицы 2 записать дифференциальные уравнения в операторной форме записи в общем виде и с учетом численных значений.

1.3. Получить передаточные функции типовых звеньев структурной схемы.

1.4. Воспользовавшись правилами структурного преобразования линейных систем определить передаточную функцию САУ в разомкнутом состоянии, отдельно выделив коэффициент передачи системы $k_{\text{раз}}$.

1.5. Записать передаточные функции замкнутой САУ по задающему v и возмущающему f воздействиям.

1.6. При помощи алгебраического критерия устойчивости А. Гурвица проверить условие устойчивости нескорректированной САУ.

1.7. Методом цифрового моделирования определить прямые показатели качества переходных процессов и статическую точность регулирования (ошибку) нескорректированной САУ.

2.2. Синтез последовательного корректирующего устройства на основании частотного метода (желаемой ЛАЧХ)

2.1. Изобразить асимптотическую ЛАЧХ нескорректированной системы $L_{\text{нс}}(\omega)$ с использованием логарифмического масштаба ω или $\lg\omega$. Поперечную ось $L(\omega)$ провести через единичную частоту $\omega = 1$.

2.2. Построить желаемую ЛАЧХ скорректированной САУ $L_{\text{жел}}(\omega)$, обеспечивающую заданные показатели качества переходных процессов $\sigma_{\max}\%$, $t_{\text{р}}$ и требуемую статическую (скоростную) ошибку $\Delta y_{\text{доп}}(\infty)$, которая состоит из низкочастотной (НЧ), среднечастотной (СЧ) и высокочастотной (ВЧ) областей (см. рисунок).

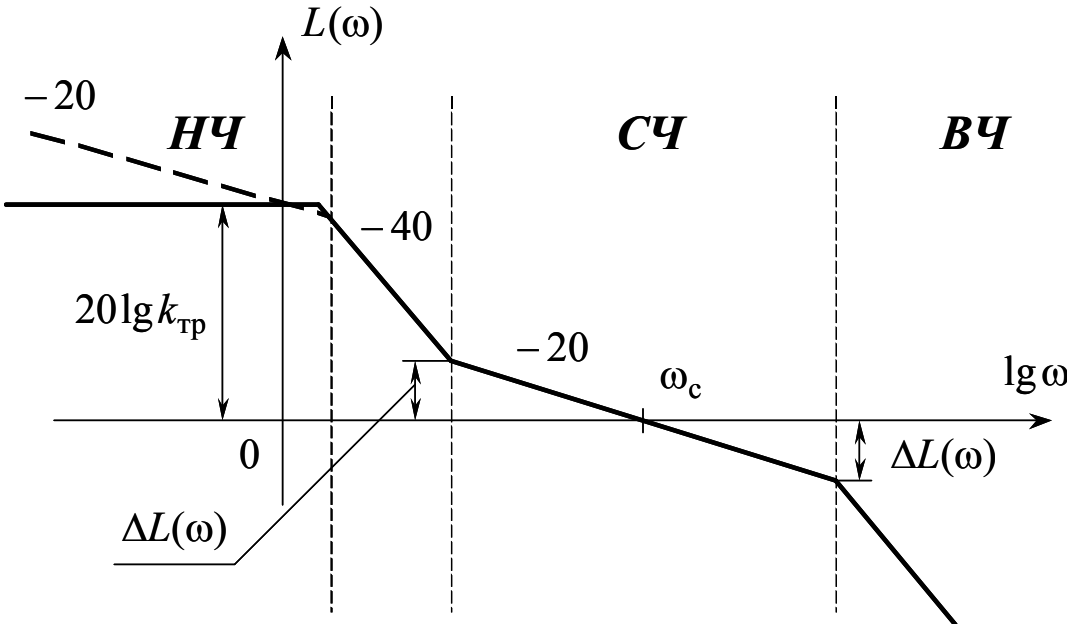


Рисунок – Желаемая ЛАЧХ скорректированной САУ

2.2.1. Наклон НЧ области желаемой ЛАЧХ в зависимости от степени астатизма исходной системы принять равным 0 дБ/дек или –20 дБ/дек. Требуемый разомкнутый коэффициент передачи $k_{\text{тр}}$ скорректированной системы в первом случае определить как

$$k_{\text{тр}} = \frac{1}{\Delta y_{\text{доп}}(\infty)} - 1,$$

а во втором

$$k_{\text{тр}} = \frac{1}{\Delta y_{\text{доп}}(\infty)}.$$

2.2.2. По номограммам, задавшись требуемым значением перерегулирования $\sigma_{\max}\%$ (см. исходные данные), определить максимальное значение вещественной частотной характеристики $P_{\max}$. По найденной величине $P_{\max}$ найти частоту среза $\omega_{\text{с}}$ и необходимый запас устойчивости по модулю СЧ зоны $\Delta L(\omega)$, имеющий наклон –20 дБ/дек, а также запас устойчивости по фазе $\Delta\gamma(\omega)$.

2.2.3. Соединить НЧ и СЧ области $L_{\text{жел}}(\omega)$ асимптотической прямой с наклоном –20 дБ/дек или –40 дБ/дек.

2.2.4. ВЧ область желаемой ЛАЧХ $L_{\text{жел}}(\omega)$ в целях простоты реализации последовательного корректирующего устройства (регулятора) строится параллельно ЛАЧХ исходной САУ $L_{\text{нс}}(\omega)$, причем ее наклон в целях фильтрации высокочастотных помех должен составлять не менее –20 дБ/дек.

2.2.5. Построить ЛАЧХ последовательного корректирующего устройства, воспользовавшись формулой

$$L_{\text{ку}}(\omega) = L_{\text{жел}}(\omega) - L_{\text{нс}}(\omega).$$

2.3. По асимптотической ЛАЧХ корректирующего устройства $L_{\text{ку}}(\omega)$ восстановить передаточную функцию с учетом численных значений. Полученное значение коэффициента передачи регулятора сравнить с расчетным значением, найденным по формуле

$$k_{\text{ку}} = \frac{k_{\text{тр}}}{k_{\text{раз}}}.$$

2.4. Составить структурную схему синтезированной САУ с учетом последовательного корректирующего устройства.

2.5. Методом цифрового моделирования исследовать скорректированную САУ при единичном ступенчатом (линейно-возрастающем) задающем воздействии v, а также при приложении единичного ступенчатого возмущающего воздействия f.

2.6. Сделать выводы о результатах анализа и синтеза стационарной линейной непрерывной системы автоматического управления.