МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ (МИИТ)
РОССИЙСКАЯ ОТКРЫТАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА

БОРОВКОВ Ю.Г.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2

**по дисциплине «Теория автоматического управления»
для студентов III курса специальности СОДП, специализаций СА, СТ, СЭ**

Москва – 2013

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Для успешного выполнения контрольной работы студент должен иметь представление об основных формах записи линейных дифференциальных уравнений, передаточных функций, временных и частотных характеристик линейных систем автоматического управления (САУ), а также ознакомится с основными понятиями и определениями теории автоматического управления. Прежде, чем приступить к выполнению контрольной работы студент должен изучить соответствующие разделы основной [1 и 2] и рекомендованной литературы [3].

Цель контрольной работы – закрепить знания, полученные студентом при самостоятельном изучении дисциплины.

Необходимые чертежи и графики выполняются на белой бумаге стандартных размеров: 297х210 мм с использованием современных компьютерных технологий. Пояснительная записка пишется от руки или машинописно на одной стороне стандартного листа аналогичного формата. Все листы записки, в том числе графики и таблицы, должны быть сброшюрованы и иметь сплошную нумерацию, показанную в правом верхнем углу каждого листа. Для замечаний рецензента слева оставляют поля шириной 4 см. Исправления по замечаниям делаются на чистой оборотной стороне листа и сопровождают надписью «Работа над ошибками».

Контрольная работа содержит задание, состоящее из трех задач. Пояснительная записка должна содержать условия и исходные данные к каждой задаче согласно своему варианту. Ход решения задачи должен сопровождаться краткими пояснениями с приложением необходимых таблиц расчетных данных и графиков. Под графиками должно стоять конкретное его наименование, оси координат должны быть промасштабированы и обозначены с указанием принятой размерности функции и аргумента. Все чертежи с графиками вставляются в пояснительную записку сразу после той страницы, на которой имеется первая ссылка на него. Все пояснения к выполненной работе, а также приводимые формулы должны быть разборчивыми для чтения. Сокращения слов в тексте, кроме общепринятых, не допускается. Также не допускается ксерокопирование текста, графиков или рисунков.

В конце пояснительной записки рекомендуется приводить список использованной литературы.

ЗАДАНИЕ 1
ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА СКОРОСТИ ДВИЖУЩЕГОСЯ ОБЪЕКТА ПРИ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ, НОСЯЩИХ ПОСТОЯННЫЙ ХАРАКТЕР.

В процессе выполнения задания 1необходимо:

– построить структурную схему модели автоматического регулятора скорости движущегося объекта с использованием типовых звеньев САУ;

– вычислить параметры используемых типовых звеньев;

– осуществить исследование функционирования автоматического регулятора скорости при воздействии заданных возмущающих факторов, используя для моделирования программный продукт МВТУ (**М**оделирование **В** **Т**ехнических **У**стройствах) или пакет программ «Simulink» математической среды «Matlab system».

Для выполнения задания 1 необходимо использовать следующие исходные данные:

1) $V_н$ – значение скорости движения объекта на момент начала регулирования, км/ч;

2) $V_з$ – значение заданной скорости движения объекта, км/ч;

3) K_1 – статический коэффициент усиления апериодического звена в основной цепи регулятора, характеризующий взаимосвязь между текущим значением отклонения ΔV фактической скорости $V_ф$ от заданной $V_з$ и величиной изменения ΔV_p регулируемой скорости в установившемся режиме;

4) T_1 – постоянная времени апериодического звена в основной цепи регулятора, характеризующая инерционность реализации управляющего воздействия, с;

5) T_2 – постоянная времени апериодического звена в цепи обратной связи, характеризующая инерционность цепи обратной связи устройства автоматического регулирования, с;

6) A – максимальное приращение $\Delta V_в$ фактической скорости $V_ф$ от периодически изменяющегося внешнего возмущающего воздействия, км/ч;

Вариант значений исходных данных для выполнения задания 1 выбирается студентом из табл. 1 в соответствии с последней и предпоследней цифрами своего шифра.

Закон изменения фактической скорости $V_ф(t)$ движения объекта имеет вид следующей функции:

$$V_ф(t) = V_н + \Delta V_в(t) + \Delta V_р(t),$$

где $\Delta V_в(t)$ – изменение фактической скорости, вызванное периодически изменяющимся внешним возмущающим воздействием с амплитудой A, км/ч;

$\Delta V_р(t)$ – изменение фактической скорости, вызванное регулирующим воздействием апериодического звена в основной цепи регулятора.

Таблица 1

№ варианта	последняя цифра шифра студента				предпоследняя цифра шифра студента		
	$V_з$	$V_н$	T_1	T_2	A	$T_в$	K_1
0	20	40	1	2	1	2π	0.001
1	25	45	0.8	0.1	1.5	2.5 π	0.002
2	30	50	0.6	0.15	2	3 π	0.004
3	35	55	0.5	0.2	2.5	3.5 π	0.006
4	40	60	0.4	0.25	3	4 π	0.008
5	45	25	0.3	0.3	1	4.5 π	0.01
6	50	30	0.2	0.35	1.5	5 π	0.012
7	55	35	0.1	0.4	2	5.5 π	0.014
8	60	40	0.08	0.45	2.5	6 π	0.016
9	65	45	0.06	0.5	3	6.5 π	0.018

Используя приведенные ниже структурные схемы модели автоматического регулятора скорости с использованием программных средств Simulink и МВТУ, студент должен:

– вычислить статический коэффициент усиления K_2 цепи обратной связи;

– найти аналитическое выражение для передаточной функции $W(p)$ замкнутой системы автоматического регулирования скорости (далее системы);

– используя программные средства Simulink или МВТУ, получить графики переходной функции замкнутой системы $h(t)$ и сделать выводы об устойчивости системы;

– используя программные средства Simulink или МВТУ, получить графики логарифмической амплитудночастотной $L(\lg\omega)$ и фазочастотной $\varphi(\lg\omega)$

характеристик замкнутой системы, и подтвердить сделанные ранее выводы об устойчивости замкнутой системы;

– произвести оценку основных показателей качества регулирования скорости при изменении постоянной времени T_2 апериодического звена в цепи обратной связи автоматического регулятора скорости в следующих пределах: $T_{2.\min} = 0.1 \cdot T_2$; $T_{2.\max} = 5 \cdot T_2$;

– вывести на печать графики $h(t)$, $H_{\text{р}}(\omega)$ и $\varphi_{\text{р}}(\omega)$;

– привести краткое пояснение хода выполнения работы и сформулировать выводы по результатам исследований.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЗАДАНИЮ 1

2.1. Общие сведения

Системой автоматического регулирования (САР) называется такая система, которая в течение достаточно длительного времени автоматически поддерживает требуемое неизменное значение некоторой физической величины (например, скорости линейного или углового перемещения объекта) в каком-либо процессе или изменяет это значение по заданной программе. САР, работающие на поддержание постоянного значения регулируемой величины, называют также системами стабилизации (например, стабилизаторы напряжения или тока).

Объект, параметры которого подлежат автоматической регулировке, называется объектом регулирования (ОР). В нашем случае, в качестве движущегося объекта регулирования может быть поезд, отдельный локомотив или любая другая подвижная единица.

Параметр, значение которого требуется регулировать, называется регулируемой величиной. В соответствии с заданием регулируемой величиной является фактическая скорость движения подвижной единицы.

Устройство, осуществляющее непосредственное регулирующее воздействие на объект регулирования, называют автоматическим регулятором, или просто регулятором. В нашем случае, мы имеем дело с регулятором скорости. Регулятор, как правило, содержит следующие основные узлы:

– измерительное устройство, чувствительный элемент которого реагирует на фактическое значение регулируемой величины;

– усилительно-преобразовательное устройство, преобразующее (как правило, по линейному закону) входную физическую величину одной

природы в физическую величину другой природы (например, преобразует малую физическую величину электрической природы в большое механическое воздействие), используемую при формировании управляющего воздействия на исполнительное устройство;

– исполнительное устройство, предназначенное для оказания непосредственного регулирующего воздействия на объект регулирования.

Таким образом, САР есть совокупность автоматического регулятора и регулируемого объекта, и представляет собой замкнутую систему, в которой передача воздействий от одного ее звена к другому (внутренние воздействия) осуществляется по замкнутому контуру.

На САР могут поступать внешние воздействия, основным из которых является задающее воздействие, характеризующее требуемый (эталонный) характер протекания процесса. Оно поступает от внешнего задающего устройства. В нашем случае задающим воздействием является заданное значение линейной скорости перемещения подвижной единицы.

Совокупность задающего устройства и САР образует систему автоматического управления САУ, которая в общем виде может иметь несколько различных объектов регулирования (например, система автоматического управления движением поездов на некотором участке пути САУ ДП).

К внешним воздействиям на САР относятся также возмущающие воздействия на объект регулирования (например, изменение сопротивления движению движущегося поезда на участках пути с различным профилем).

2.2. н ls tɕ ɮ ʢ ls ɮ tɕ dʑ Θ ʷ fŋ ⁼ j dʒ Θ tɕ j ɕ ɮ dʑ ʷ ls ts t ls ɖ tʰfə ʳ ⁼ ʟ ə j dʑ ˈ j ə н ɸ υ

В качестве ОР будем подразумевать колесное транспортное средство, линейное поступательное движение которого осуществляется за счет вращательного движения колесных пар. Следовательно, чувствительным элементом изменения скорости движения объекта может служить колесо, а в качестве измерительного устройства может служить, например, преобразователь скорости вращения колеса в напряжение постоянного тока или частоту переменного тока.

Введем следующие обозначения:

$K_л$ – коэффициент преобразования, связывающий линейную скорость $V_ф(t)$ с угловой скоростью $\omega(t)$ вращения колеса: $\omega(t) = K_л \cdot V_ф(t)$;

$K_в$ – коэффициент преобразования угловой скорости вращения колеса в напряжение постоянного тока: $U_ф(t) = K_в \cdot \omega(t) = K_л \cdot K_в \cdot V_ф(t)$;

$K_и$ – коэффициент преобразования линейной скорости в напряжение постоянного тока: $U_ф(t) = K_и \cdot V_ф(t)$, где $K_и = K_л \cdot K_в$.

В качестве усилительно-преобразовательного устройства может служить электросиловая установка, установленная на транспортном средстве и воздействующая на тяговый двигатель, являющийся исполнительным устройством, выполняющим функции ускорения или замедления (при электрическом реостатном торможении) вращения колеса. Коэффициент преобразования $K_{уп}$ усилительно-преобразовательного устройства устанавливает связь между величиной отклонения $\Delta U = U_з - U_ф = K_и \cdot (V_З - V_ф)$ задающего воздействия $U_з$ от измеренного значения $U_ф$ и величиной требуемой силы тяги F_T (или силой торможения $W_т$), а именно: $F_T = K_{уп} \cdot \Delta U$. Тяговый двигатель в режиме тяги реализует требуемое значение силы F_T или в режиме генератора – требуемое значение силы $W_т$, обеспечивая соответствующее изменение скорости вращения колеса в единицу времени (ускорение/замедление b).

С целью упрощения структурной схемы регулятора скорости принимаем допущение о равенстве абсолютного значения приращения скорости в единицу времени b как при регулируемом увеличении скорости вращения колеса, так и при ее снижении в процессе торможения транспортного средства. Очевидно, что приращению угловой скорости вращения колеса b в единицу времени соответствует приращение линейной скорости $a = b / K_л$.

Для повышения точности регулирования скорости движения ОР на практике часто вводят такую зависимость между величиной отклонения ΔV значений заданной скорости $V_з$ от фактической $V_ф$ и величиной b, при которой, чем меньше величина отклонения ΔV, тем меньше требуемое значение b. В качестве примера примем линейную зависимость: $b(\Delta V) = K \cdot (V_з - V_ф)$, где K – коэффициент пропорциональности. Следовательно, если известна разность ΔV, то можно определить общий коэффициент преобразования (усиления) K_1 тракта, состоящего из усилительно-преобразовательного и исполнительного устройств, из следующего соотношения:

$K \cdot (V_з - V_ф) = \Delta U_р(\Delta V) = a \cdot K_л$, откуда $a = K \cdot \frac{U_з - U_ф}{K_и \cdot K_л} = K \cdot \frac{\Delta U}{K_и \cdot K_л} = K_1 \cdot \Delta V$,

где $K_1 = \frac{K}{K_и \cdot K_ё}$.

Значения коэффициента K_1 для различных вариантов приведены в табл.1, а на рис.1 приведена общая структурная схема регулятора скорости, которая представлена в виде набора связанных между собой функциональных узлов (блоков).

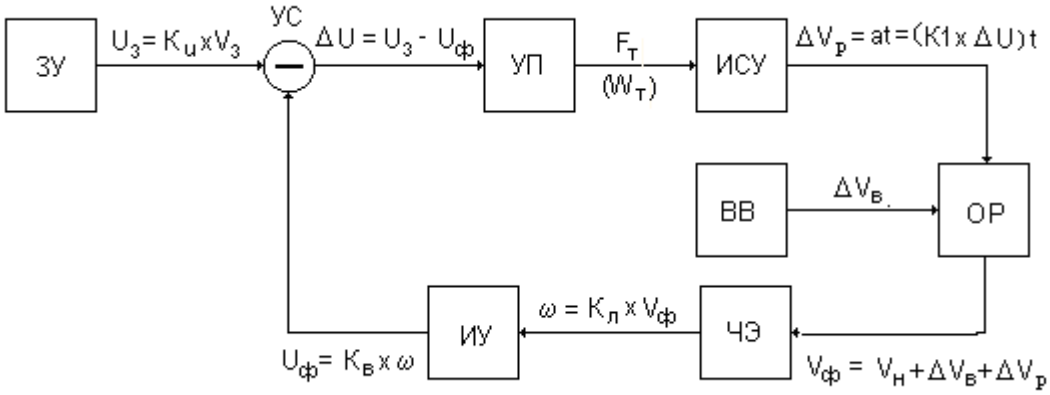

Рис.1. Общая структурная схема автоматического регулятора скорости

С выхода задающего устройства ЗУ на один из входов устройства сравнения УС поступает постоянное напряжение $U_з$, пропорциональное значению заданной скорости $V_з$. На другой вход устройства УС поступает напряжение $U_ф$, пропорциональное фактической скорости движения $V_ф$. С выхода УС сигнал ошибки в виде напряжения ΔU, пропорционального разности скоростей $(V_з - V_ф)$, поступает на собственно регулятор, состоящий из усилительно-преобразовательного УП и исполнительного ИСУ устройств и который преобразует сигнал ошибки ΔU в регулирующее воздействие $\Delta V_р$ на объект ОР, ускоряя или замедляя его движение с интенсивностью a в зависимости от величины и знака рассогласования скоростей. Система, представленная на рис. 1, относится к статическим системам автоматического управления, в которых регулирование осуществляется по отклонению. Для статических систем характерна существенная зависимость ошибки регулирования в установившемся режиме от значения статического коэффициента усиления K_1 разомкнутой (без обратной связи) системы регулирования. С увеличением K_1 ошибка $\Delta V = V_з - V_ф$ уменьшается, а с уменьшением – увеличивается.

Прежде, чем приступить к анализу процесса регулирования и к выбору

структуры и параметров САУ, ее предварительно разбивают на элементарные типовые динамические звенья. При этом определяют статические и динамические характеристики каждого звена. Как видно из рис.1, каждый функциональный блок имеет свою входную и выходную величину. Так как коэффициент преобразования K_u изменяет только масштаб переменных, то в дальнейшем удобнее оперировать с входными и выходными переменными в масштабе скорости. Тогда статическая характеристика ОР будет выражать собой зависимость между выходной (регулируемой) величиной $V_ф$ и входной величиной (регулирующим воздействием) $\Delta V_p = a \cdot t$ и иметь вид:

$$V_ф = V_н + \Delta V_p ,$$

где $V_н$ – скорость объекта на момент начала регулирования,

a – требуемое изменение линейной скорости в единицу времени с тем, чтобы обеспечить соответствующее приращение скорости $\Delta V_р$ в установившемся режиме регулирования.

Кроме того, на ОР может поступать внешнее в общем виде произвольно изменяющееся возмущающее воздействие, обусловленное, например, изменением сопротивления движению транспортного средства на участках пути с различным профилем, вызывающее изменение фактической скорости на величину, равную $\Delta V_в$. Следовательно, статическая характеристика ОР окончательно примет следующий вид: $V_ф = V_н + \Delta V_p + \Delta V_в$.

Следовательно, реальный объект регулирования мы можем заменить его моделью в виде блока генератора ступенчатой функции, генерирующего постоянный сигнал F, численно равный начальной скорости движущегося объекта V_i, и двух блоков, реализующих функцию суммирования всех воздействий. На рис.2. показана структурная схема модели ОР.

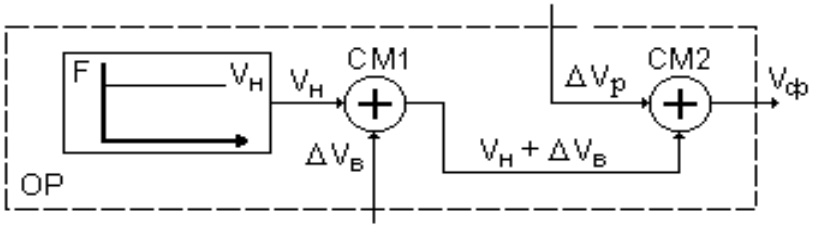

Рис.2. Структурная схема модели объекта регулирования (ОР)

Прежде, чем приступать к моделированию процесса регулирования скорости, необходимо разработать структурные схемы моделей отдельных

функциональных узлов, входящих в состав системы автоматического управления с использованием элементарных типовых динамических звеньев.

Для упрощения моделирования при выполнении задания 1случайное по своей природе возмущающее воздействие $\Delta V_{\text{р}}$ на процесс движения ОР, заменим ступенчатой функцией с амплитудой, равной максимальному его значению A. В этом случае структурная схема модели источника ВВ может быть представлена в виде блока ступенчатой функции (рис. 3):

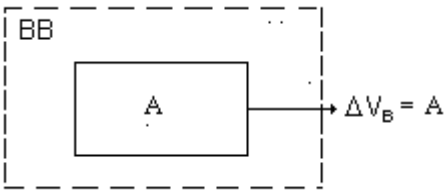

Рис.3. Структурная схема модели постоянного возмущающего воздействия (ВВ)

Два последовательно включенных функциональных блока в цепи обратной связи: чувствительный элемент (ЧЭ) и измерительное устройство (ИУ) можно было бы представить в виде усилительного безинерционного звена с коэффициентом усиления K_2, который по своей сути является коэффициентом усиления K_{oc} цепи обратной связи между выходом и входом регулятора скорости.

Так как регулируемый объект обладает инерционностью, т.е. для регулируемого изменения скорости требуется определенное время, то для ее учета в цепь обратной связи вводим апериодическое (инерционное) звено с постоянной времени T_2 и статическим коэффициентом усиления K_2. Структурная схема блока, замещающего элементы цепи обратной связи, представлена на рис.4.

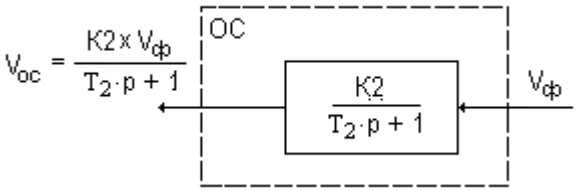

Рис.4. Структурная схема модели цепи обратной связи (ОС)

Взаимосвязь между входным и выходным сигналами модели цепи обратной связи в этом случае описывается соотношением: $V_{oc} = V_{\phi} \cdot \dfrac{K_2}{T_2 \cdot p + 1}$.

Значение постоянной времени T_2 выбирается из табл.1, а значение коэффициента усиления K_2 при моделировании регулятора скорости должно

определяться расчетом из уравнения динамики автоматического регулятора скорости, методика составления которого приводится ниже.

Два последовательных функциональных блока в основной цепи регулятора: усилительно-преобразовательное (УП) и исполнительное (ИСУ) устройства представим в виде одного апериодического звена с коэффициентом усиления K_1, характеризующим результирующий коэффициент усиления данной цепи, и постоянной времени T_1, которая характеризует инерционность исполнительного устройства. Значения переменных K_1 и T_1 выбираются из табл.1.

Задающее устройство (ЗУ) может быть представлено в виде генератора ступенчатой функции с амплитудой F, численно равной значению заданной скорости $V_з$, рис. 5.

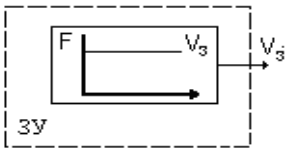

Рис. 5. Структурная схема модели задающего устройства (ЗУ)

Сигнал с выхода ЗУ поступает на один из входов устройства сравнения (УС), реализующего функцию вычитания (сравнения) двух сигналов, рис. 6. На другой вход УС должен поступать сигнал $V_{ос}$ с выхода блока ОС, моделирующего цепь обратной связи.

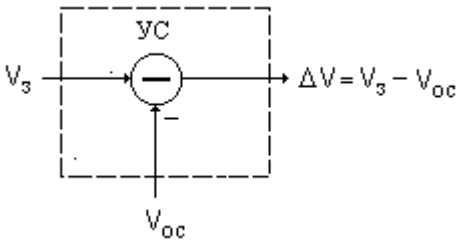

Рис. 6 Структурная схема модели устройства сравнения

2.3. Выбор параметров математической модели автоматического регулятора скорости

Составим математическую модель регулятора скорости для установившегося режима, используя структуру регулятора, представленную

на рис.7, для чего разорвем условно цепь обратной связи (на рисунке отмечено крестиком). Тогда для скорости $V_ф$ на выходе блока ОР будет справедливо по определению следующее уравнение: $V_ф = V_н + \Delta V_р + \Delta V_в$.

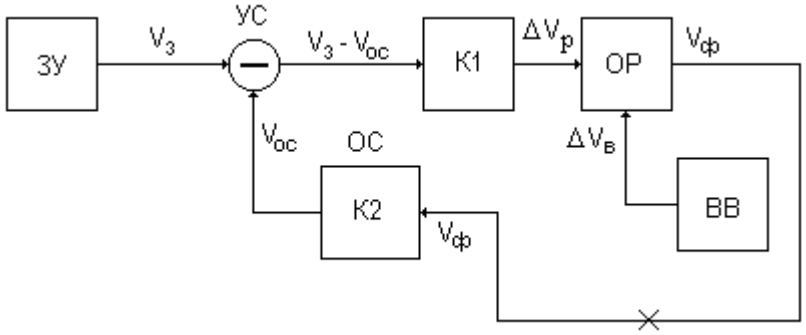

Рис.7. Структурная схема САР скорости для установившегося режима

Из схемы на рис. 7 следует, что сигнал $\Delta V_р$ на входе блока ОР равен: $\Delta V_р = K_1 \cdot (V_з - V_{ос})$, где $V_{ос} = K_2 \cdot V_ф$. Подставляя выражение для $V_{ос}$ в формулу для $\Delta V_р$, получим: $\Delta V_р = K_1 \cdot (V_з - K_2 \cdot V_ф)$. В результате выражение для $V_ф$ примет окончательный вид: $V_ф = V_н + \Delta V_в + K_1 \cdot (V_з - K_2 \cdot V_ф)$. Последнее уравнение является математической моделью рассмотренного выше регулятора скорости и позволяет определить неизвестный параметр K_2. После несложного преобразования данное уравнение можно привести к следующему виду: $V_ф = \dfrac{K_1 \cdot V_з + V_н + \Delta V_в}{1 + K_1 \cdot K_2}$.

Решим полученное уравнение относительно переменной K_2, учитывая что в установившемся режиме, исходя из назначения самого регулятора, должно выполняться равенство: $V_ф = V_З$, т.е.:

$$V_з = \frac{K_1 \cdot V_з + V_н + \Delta V_в}{1 + K_1 \cdot K_2}, \text{ откуда } K_2 = 1 + \frac{\dfrac{V_н + \Delta V_в}{V_з} - 1}{K_1}.$$

Так как состав и параметры типовых звеньев модели автоматического регулятора скорости нами определены полностью, в том числе входные и выходные сигналы каждого звена, то можно приступить к построению структурной схемы модели САР, определению вида ее передаточной функции и последующему исследованию в соответствии с требованиями задания 1.

2.4. Построение и исследование модели автоматического регулятора скорости

Соединив между собой модели функциональных узлов, приведенных на рис. 2 – рис. 6, составим модель системы автоматического регулирования скорости движущегося объекта в общем виде так, как показано на рис. 8.

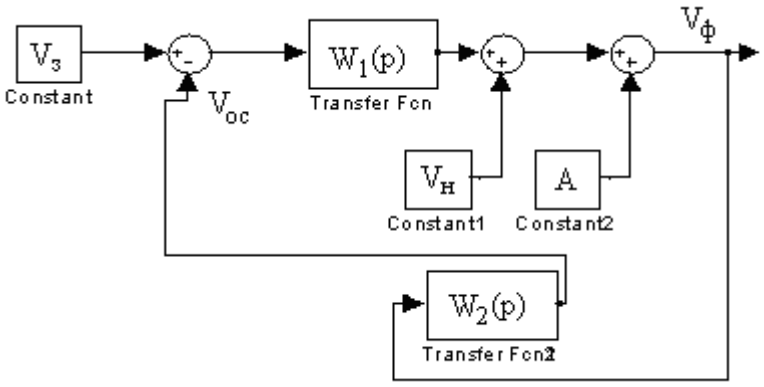

Рис. 8 Структурная схема модели автоматического регулятора скорости в общем виде

Обозначения блоков на приведенном рисунке соответствуют обозначениям типовых блоков «Simulink», приведенных ниже в табл. 2.

Составим для структурной модели замкнутой САР аналитическое выражение для ее передаточной функции $W(p)$, для чего составим уравнение для фактической скорости на выходе системы:

$$V_{\text{ф}} = (V_{\text{з}} - V_{oc}) \cdot W_1(p) + V_{\text{н}} + A.$$

Учитывая, что $V_{oc} = V_{\text{ф}} \cdot W_2(p),$ уравнение после подстановки примет вид:

$$V_{\text{ф}} = (V_{\text{з}} - V_{\phi} \cdot W_2(p)) \cdot W_1(p) + V_{\text{н}} + A.$$

Преобразуем полученное выражение к виду:

$$V_{\text{ф}} \cdot [1 + W_2(p) \cdot W_1(p)] = V_{\text{з}} \cdot W_1(p) + V_{\text{н}} + A, \text{ откуда}$$

$$V_{\text{ф}} = \frac{V_{\text{з}} \cdot W_1(p) + V_{\text{н}} + A}{1 + W_2(p) \cdot W_1(p)}.$$

Передаточная функция $W(p)$ есть отношение выходной величины $V_{\text{ф}}$ к входной $V_{\text{з}}$:

$$W(p) = \frac{V_{\text{ф}}}{V_{\text{з}}} = \frac{W_1(p) + \frac{V_{\text{н}} + A}{V_{\text{з}}}}{1 + W_2(p) \cdot W_1(p)},$$ или после подстановки получим окончательно:

$$W(p)=\frac{\dfrac{K_1}{1+p\cdot T_1}+\dfrac{V_н+A}{V_з}}{1+\dfrac{K_2}{1+p\cdot T_2}\cdot\dfrac{K_1}{1+p\cdot T_1}}.$$

Для построения модели и последующего моделирования работы системы рекомендуется использовать пакет «Simulink», входящий в «Matlab system» или пакет программ МВТУ.

Первичное ознакомление с основами работы при построении и исследовании моделей динамических систем в пакете «Simulink» или МВТУ осуществляется в процессе выполнения практических и лабораторных работ.

Приведенные ниже рекомендации изложены в приложении применительно к пакету «*Simulink*».

При выполнении исследовательской части задания рекомендуется следующая последовательность этапов:

– запуск пакета программ ç*Matlab system*è и построение требуемых временных и частотных характеристик искомой САР с помощью пакета *Control System*;

– построение модели замкнутой системы автоматического регулирования скорости движущегося объекта с использованием типовых модулей пакета «*Simulink*»

– настройка параметров моделирования;

– настройка параметров моделей отдельных функциональных блоков системы;

– проверка работоспособности модели САР скорости движущегося объекта;

– исследование требуемых показателей качества работы системы.

Для построения графика переходной функции *h*(*t*) системы с помощью пакета *Control System* используется функция *step*. При этом требуется следующая последовательность действий:

1) в окне команд задается описание передаточной функции с помощью функции *tf* (*transfer function*), которое в нашем случае разбивается на несколько следующих шагов.

1 шаг. Задание параметров передаточной функции первого апериодического звена, например $W_1(p)=\dfrac{0.002}{1+p\cdot 0.8}$:

```
>> sys1 = tf([0.002],[0.8 1]).
```

В первой квадратной скобке проставляются параметры числителя, а во второй – параметры знаменателя (коэффициенты при *p* в порядке убывания степени). При вводе команды путем нажатия клавиши Enter на экране воспроизводится искомая передаточная функция (при этом вместо символа *p* программа использует символ *s*).

```
        0.002
    ---------.
    0.8 s + 1
```

2 шаг. Задание параметров передаточной функции второго апериодического звена, например $W_2(p) = \frac{431}{1 + p \cdot 0.1}$:

```
>> sys2=tf([431],[0.1 1]).
```

В числителе должно стоять предварительно вычисленное значение статического коэффициента усиления K_2 цепи обратной связи. После ввода команды получим

```
        431
    ---------
    0.1 s + 1
```

3 шаг. Вводим последовательно значения параметров $V_н$, $V_з$ и A:

```
>> Vn=45
Vn =45

>> Vz=25
Vz =25

>> A=1.5
A =1.5
```

4 шаг. Вводим передаточную функцию W(p) системы

```
>> sys = (sys1 + (Vn + A)/Vz)/(1 + sys1*sys2).
```

После ввода команды на экране в окне команд появится вычисленное значение передаточной функции

```
                Transfer function:
0.1488 s^2 + 1.674 s + 1.86
----------------------------
0.08 s^2 + 0.9 s + 1.862
```

2) строим переходную характеристику с помощью функции *step*.

>> step(sys).

После ввода данной команды график переходной функции выводится на экран, рис. 9.

Рис. 9 Переходная характеристика автоматического регулятора скорости

Далее строим частотные характеристики САР с помощью пакета *Control System*, исходными данными для построения которых является описание системы в виде ее полученной выше передаточной функции *sys*.

Логарифмическая амплитудная (ЛАЧХ) и фазовая (ЛФЧХ) частотные характеристики строятся с помощью функции *bode*.

>> bode(sys).

После ввода данной команды графики ЛАЧХ и ЛФЧХ выводятся на экран, рис. 10.

Амплитудно-фазовая частотная характеристика (АФЧХ) строится с помощью функции *nyquist*

1) значения параметров: $T_2 = 0.1$ сек; 2) показатели качества регулирования САР:

$$t_p = 1.0 \text{ сек};\ \Delta V_\phi = 0 \text{ км/ч};\ \delta V_\phi = \frac{0}{25} \cdot 100\% = 0\%.$$

Из приведенного на рис. 16 графика следует, что автоматический регулятор полностью компенсирует постоянное влияние внешней среды.

Выводы по результатам выполненного задания должны отвечать на вопрос: как влияет параметр T_2 автоматического регулятора скорости на точность регулирования скорости? Выводы должны быть подкреплены ссылками на соответствующие графики.

ЗАДАНИЕ 2
ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА СКОРОСТИ ДВИЖУЩЕГОСЯ ОБЪЕКТА ПРИ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ, НОСЯЩИХ ПЕРЕМЕННЫЙ ХАРАКТЕР.

В процессе выполнения задания 1необходимо:

– откорректировать структурную схему модели автоматического регулятора скорости движущегося объекта с учетом переменного характера внешнего возмущающего воздействия;

– задать параметры используемых типовых звеньев;

– осуществить исследование функционирования автоматического регулятора скорости при воздействии заданных возмущающих факторов.

Для выполнения задания 2 необходимо дополнительно использовать следующие исходные данные из табл. 1 в соответствии с предпоследней цифрой своего шифра:

1) A – амплитуда периодически изменяющегося по синусоидальному закону внешнего возмущающего воздействия $\Delta V_в = A \cdot \sin \frac{2\pi}{T_в} \cdot t$, км/ч;

2) $T_в$ – период изменения внешнего возмущающего воздействия, с.

Для того чтобы система автоматического управления выполняла качественно свои функции в условиях переменного внешнего возмущающего воздействия, она должна обладать свойствами САУ с комбинированным управлением, как по отклонению, так и по возмущению.

Для построения модели САУ с комбинированным управлением статический коэффициент усиления цепи обратной связи должен автоматически изменяться (подстраиваться под изменяющиеся условия функционирования САУ) в соответствии с выражением:

$$K_2 = 1 + \frac{\frac{V_н + \Delta V_в}{V_з} - 1}{K_1} = 1 + \frac{\frac{V_н + A \cdot \sin\frac{2\pi}{T_в} \cdot t}{V_з} - 1}{K_1}.$$

Следовательно, модель САУ должна содержать расчетный узел по автоматическому вычислению текущего значения коэффициента K_2. Соответственно, модель цепи обратной связи в структурной схеме модели САУ (см. рис. 8) должна видоизмениться, а именно:

иметь расчетный узел по вычислению коэффициента K_2;

иметь формирователь выходного сигнала Voc цепи обратной связи, состоящий из множителя, реализующего следующую функцию перемножения:

$$V_{oc} = K_2 \cdot V_ф \cdot \frac{1}{1 + p \cdot T_2}.$$

Модель расчетного узла по автоматическому вычислению коэффициента K_2 может иметь следующий вид, рис. 17:

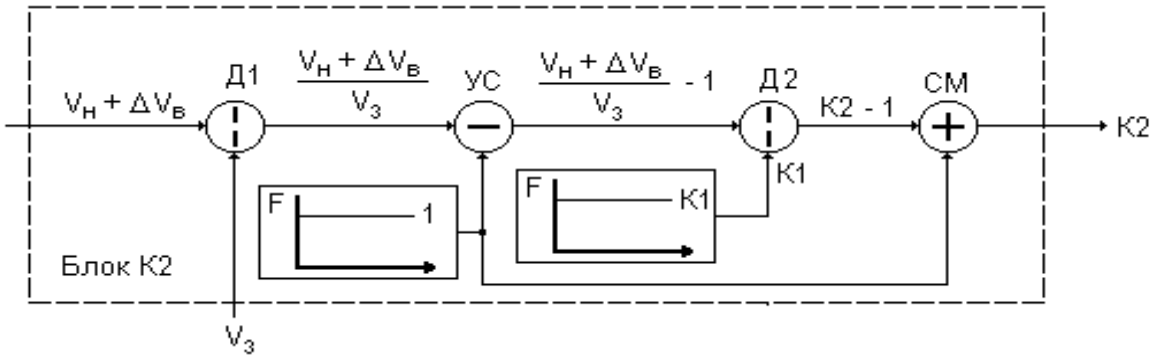

Рис. 17 Структурная схема модели расчетного узла по автоматическому вычислению коэффициента K_2

Для построения этой модели в программной среде «*Simulink*» необходимо использовать стандартные модули «*Simulink*», представленные в табл. 2 и 3.

Таблица 3

№ п/п	Обозначение блока	Название блока
1.	Sine Wave	Генератор синусоидальных колебаний
2.		Многовходовый элемент, реализующий операции умножения и деления сигналов

На рис. 18 представлена структурная схема модели расчетного узла цепи обратной связи САУ, построенная в соответствии с рис. 17 в программной среде «*Simulink*».

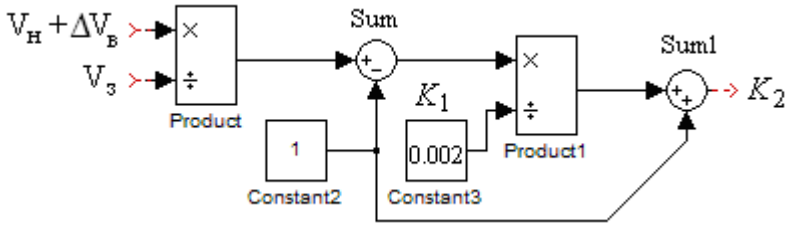

Рис. 18 Структурная схема модели расчетного узла цепи обратной связи САУ, построенная в программной среде «*Simulink*».

Для настройки множителя *Produkt* на выполнение операции деления в строке настройки параметров этого блока число 2, характеризующее число множителей, необходимо заменить символом деления */.

С учетом моделей (см. рис.8 и рис. 18) строим структурную схему модели системы автоматического регулирования скорости движущегося объекта с использованием комбинированного управления, рис. 19.

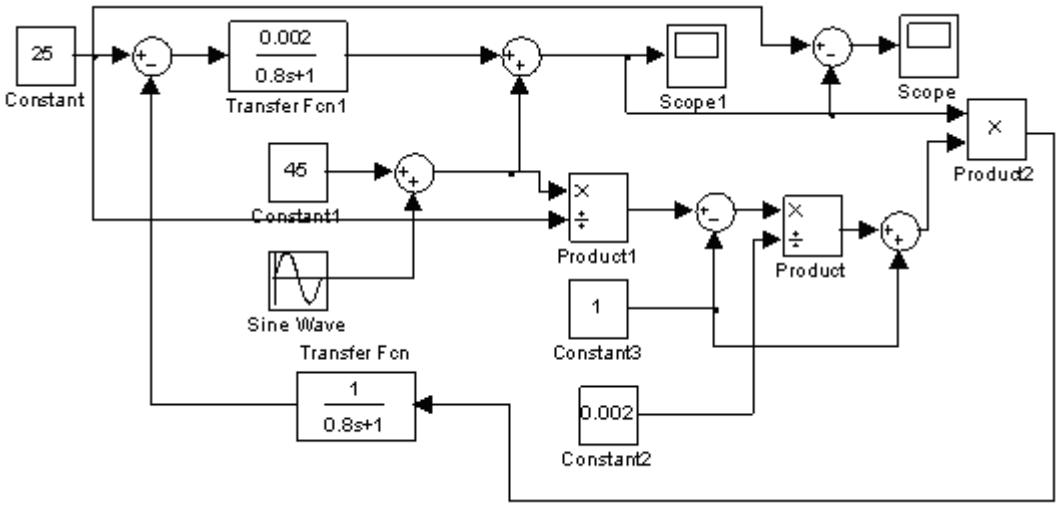

Рис. 19 Структурная схема модели системы автоматического регулирования скорости движущегося объекта с использованием комбинированного управления

В качестве примерных исходных данных при моделировании процесса регулирования скорости использовались следующие:

круговая частота генератора синусоидальных колебаний $\omega = \frac{2\pi}{T_в}$ =1, рад/с;

заданная скорость $V_з = 25$ км/ч;

начальная скорость $V_н = 45$ км/ч;

амплитуда колебаний генератора $A = 1{,}5$ км/ч;

параметры апериодических звеньев из примера задания 1;

время моделирования – 20 с.

Результат моделирования представлен на рис. 20.

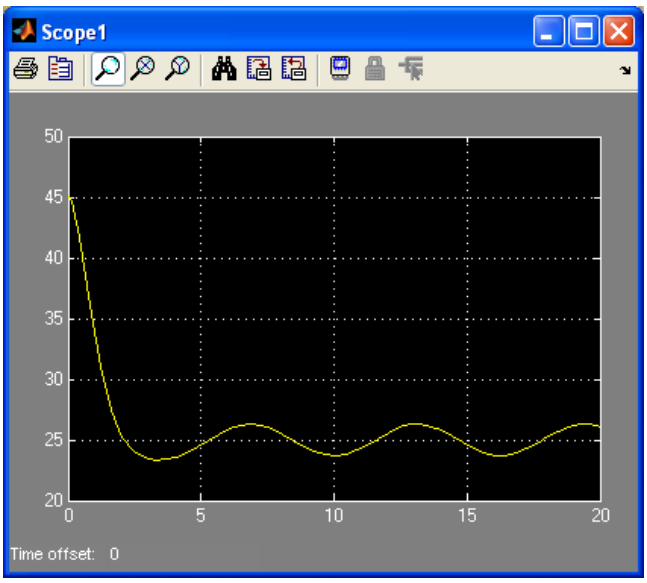

Рис. 20 График изменения фактической скорости движущегося объекта под управлением САУ

Для облегчения оценки погрешности регулирования скорости в схему модели САУ добавлен расчетный узел определения разности $\Delta V = V_з - V_ф$ и осциллограф *Scope*. На рис. 21 представлены результаты работы этого узла в виде графика абсолютной погрешности ΔV, который позволяет более точно оценить погрешность (значение ошибки) регулирования скорости.

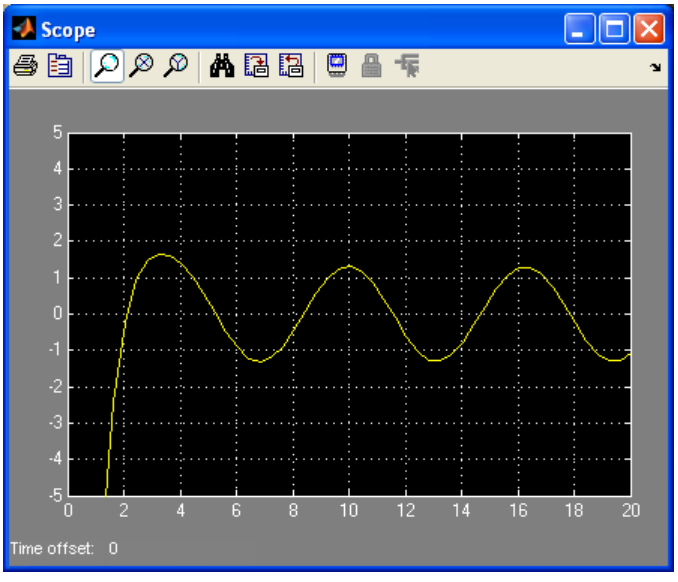

Рис. 21 График изменения погрешности ΔV регулирования скорости

В процессе моделирования работы САУ необходимо вывести графики (рис. 20 и рис. 21) при среднем значении параметра T_2 и трех значениях круговой частоты: $\omega = \frac{2\pi}{T_в}$; $\omega = \frac{\pi}{T_в}$; $\omega = \frac{\pi}{2T_в}$, рад/с.

Повторить исследования при минимальном и максимальном значении параметра T_2.

По графикам (рис. 20) определяем время регулирования tp на уровне $0.95 \cdot V_ф$ при повышении скорости или $1.05 \cdot V_ф$ при понижении скорости относительно начальной $V_н$.

По графикам (рис. 21) определяем абсолютную ΔV и относительную $\delta V = \frac{\Delta V}{V_з} \cdot 100\%$ ошибки регулирования.

По результатам анализа графиков сформулировать выводы.