

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Транспортные и технологические машины»

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕМ

*Методические рекомендации к практическим занятиям
для студентов специальности 1-37 01 02 «Автомобилестроение
(по направлениям)» дневной формы обучения*



Могилев 2022

УДК 629.113
ББК 38.623
А22

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой ТТМ «19» сентября 2022 г., протокол № 2

Составитель канд. техн. наук, доц. Н. Н. Горбатенко

Рецензент канд. техн. наук, доц. А. П. Прудников

Методические рекомендации разработаны на основе рабочей программы по дисциплине «Автоматизация управления автомобилем» для студентов специальности 1-37 01 02 «Автомобилестроение» и предназначены для использования при проведении практических занятий.

Учебно-методическое издание

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕМ

Ответственный за выпуск	И. В. Лесковец
Корректор	Т. А. Рыжикова
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 36 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 01.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2022

Содержание

Введение	4
1 Система автоматического регулирования частоты вращения коленчатого вала двигателя	5
2 Автоматизация управления сцеплением	8
3 Антиблокировочные и противобуксовочные системы автомобиля	10
4 Автоматическое управление ступенчатой коробкой передач.....	14
5 Автоматическое управление подвеской автомобиля	14
6 Следящие механизмы в приводах автомобилей	15
Список литературы.....	16

Введение

Дисциплина «Автоматизация управления автомобилем» формирует у студентов основополагающие профессиональные знания в области принципов создания и исследования автоматических и автоматизированных систем управления различными узлами и агрегатами автомобиля: двигателем, сцеплением, коробкой передач, подвеской, тормозной системой, системой рулевого управления.

С целью закрепления теоретического материала учебным планом дисциплины предусмотрено проведение практических занятий в объеме 32 часов. Практические занятия предназначены для студентов специальности 1-37 01 02 «Автомобилестроение» и охватывают следующие темы дисциплины «Автоматизация управления автомобилем»:

- автоматическое регулирование частоты вращения коленчатого вала двигателя;
- автоматическое управление сцеплением;
- автоматическое управление коробкой передач;
- автоматическое регулирование оптимальной силы сцепления колеса с дорогой.

1 Система автоматического регулирования частоты вращения коленчатого вала двигателя

Цель занятия:

- изучение принципов устройства и работы системы автоматического регулирования (САР) частоты вращения коленчатого вала дизельного двигателя;
- освоение методики исследования динамических характеристик САР частоты вращения двигателя.

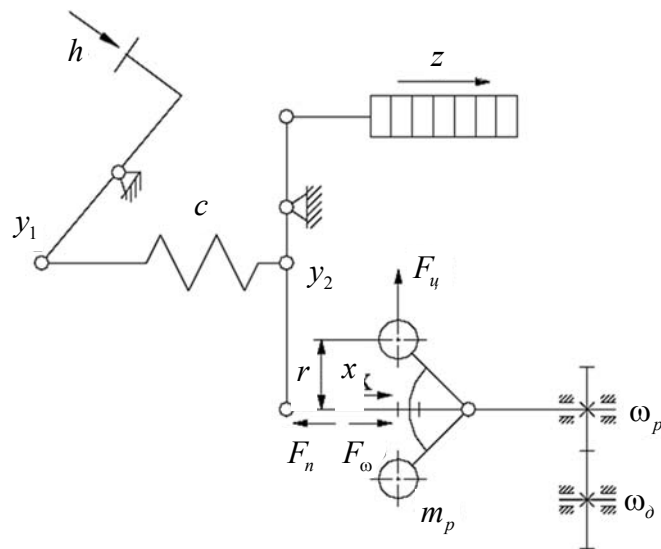
1.1 Список вопросов, изучаемых на занятии

1 Назначение САР частоты вращения двигателя, принципиальные схемы всережимного механического регулятора прямого и непрямого действия [2, с. 12–13].

2 Функциональная схема, алгоритм функционирования, фундаментальный принцип управления, положенный в основу работы САР частоты вращения двигателя [2, с. 14].

1.2 Исследование характеристик САР

Расчетная схема исследуемой САР показана на рисунке 1.1. Исходные данные для расчета приведены в таблице 1.1.



h – перемещение педали; z – перемещение рейки топливного насоса; x – перемещение муфты регулятора; ω_d – скорость вращения двигателя; ω_p – скорость вращения вала регулятора

Рисунок 1.1 – Расчетная схема САР частоты вращения двигателя

Таблица 1.1 – Исходные данные для расчета САР двигателя

Ва- риант	J_{∂} ,	m_p ,	k_{mp} ,	Φ_p ,	Φ_{p0} ,	$\frac{\partial M_{\partial}}{\partial z}$,	$\frac{\partial F_n}{\partial h}$,	A_0 ,	ω_0 ,	U_{ω}	U_z
	кг·м ²	кг	Н·с/м	Н·м·с/рад	Н/м	Н	Н/м	Н·с ²	рад/с		
	M										
	1	1	1	1	10 ⁴	10 ⁴	10 ³	10 ⁻³	1	1	1
1	0,8	0,6	38	1,2	4,0	4,5	7,1	3,2	80	1,95	0,97
2	1,2	0,65	25	0,85	4,2	5,0	4,2	3,9	95	2,33	0,88
3	1,6	0,63	40	1,15	3,2	4,9	5,1	6,1	120	1,96	1,00
4	1,4	0,70	31	0,95	3,9	3,8	6,2	5,8	110	1,64	1,09
5	1,0	0,58	33	1,08	4,1	5,2	7,4	3,8	85	1,95	1,25
6	3,2	0,72	45	0,85	4,6	5,6	5,2	6,9	105	2,15	1,33
7	3,0	0,70	26	1,15	3,3	4,6	3,8	4,2	65	2,06	1,18
8	3,4	0,75	37	0,96	4,5	6,3	5,4	4,8	80	1,84	0,96
9	2,9	0,55	28	1,18	3,7	3,8	6,3	5,3	100	2,25	1,15
10	3,1	0,60	32	0,88	2,9	5,4	5,5	3,6	75	2,18	1,24
11	2,4	0,62	40	1,24	4,6	4,9	3,9	4,7	80	1,86	0,97
12	2,6	0,56	28	1,17	3,2	6,2	6,4	5,2	120	1,64	1,41
13	2,0	0,64	36	0,98	4,3	4,7	3,9	7,2	115	2,00	1,00
14	1,9	0,58	34	1,05	2,9	5,2	5,3	4,6	130	2,03	0,89
15	2,8	0,76	27	1,14	2,8	4,9	5,6	6,1	90	1,68	1,18
16	2,1	0,71	35	1,16	3,8	5,3	4,1	5,5	85	1,97	0,92
17	1,8	0,52	29	1,08	4,1	6,0	6,2	4,0	90	1,75	0,25
18	2,7	0,67	28	1,06	3,5	4,8	5,8	6,1	75	2,34	0,94
19	1,9	0,65	41	1,12	4,0	5,0	4,2	5,7	110	2,00	1,34
20	1,6	0,56	38	1,18	3,9	5,5	3,9	3,9	85	1,95	0,95

Примечание – Исходные данные находятся умножением чисел таблицы на соответствующие масштабные коэффициенты M .

Требуется:

– осуществить вывод уравнений движения регулятора, двигателя и обратной связи САР [3, с. 89–92];

– представить математическую модель САР в виде алгоритмической структурной схемы. Она изображается в виде прямоугольников, внутри которых записывают по уравнениям модели передаточные функции соответствующих

элементов САР;

– найти передаточную функцию системы. Сначала уравнения следует записать в преобразованиях Лапласа и решить их относительно отношения выходной координаты $y(s)$ к входной $x(s)$:

$$W(s) = \frac{b}{a_2 s^3 + a_1 s^2 + a_0}, \quad (1.1)$$

где s – комплексная переменная;

b, a_0, a_1, a_2 – коэффициенты передаточной функции;

– используя критерий Гурвица определить устойчивость системы, найти, при каком коэффициенте демпфирования k_{mp} система будет находиться на границе устойчивости;

– определить частотную передаточную функцию САР путем замены в выражении $W(s)$ оператора s на $j\omega$, где $j = \sqrt{-1}$; ω – частота, рад/с;

– построить амплитудно-частотную $A(\omega)$ и фазочастотную $\varphi(\omega)$ характеристики САР: $A(\omega) = |W(j\omega)|$; $\varphi(\omega) = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Im} W(j\omega)}{\operatorname{Re} W(j\omega)}$;

– путем интегрирования уравнений модели в среде Matlab построить переходную характеристику САР.

Содержание отчета

- 1 Краткие ответы на вопросы, сформулированные в подразд. 1.1.
- 2 Описание работы исследуемой САР.
- 3 Функциональная схема исследуемой САР; рисуется в виде связанных между собой прямоугольников, каждый из которых соответствует конкретному элементу САР.
- 4 Уравнения движения САР.
- 5 Алгоритмическая структурная схема САР.
- 6 Уравнения передаточной функции, АЧХ и ФЧХ САР.
- 7 Графики амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик САР.
- 8 График переходной характеристики САР.

Контрольные вопросы

- 1 Для чего предназначена САР частоты вращения двигателя?
- 2 Как выглядит зависимость вращающего момента двигателя от частоты вращения без всережимного регулятора и при его наличии?
- 3 Какой фундаментальный принцип управления положен в основу работы САР частоты вращения двигателя?
- 4 Назовите типовые функциональные элементы исследуемой САР.

5 Расскажите, как происходит процесс функционирования всережимного механического регулятора прямого и непрямого действия.

6 Прокомментируйте результаты исследования САР.

2 Автоматизация управления сцеплением

Цель занятия:

- изучение принципов устройства и работы автоматизированных и автоматических систем управления сцеплением;
- приобретение навыков построения и анализа выходной характеристики регулятора давления автоматического сцепления.

2.1 Список вопросов, изучаемых на занятии

1 Назначение сцепления. Задачи автоматизации управления сцеплением [4, с. 34].

2 Принципиальные схемы сцеплений, применяемых в автоматических системах управления [5, с. 16–21].

3 Структурные схемы приводов управления сцеплением: схема автоматизированного привода с усилителем; схема автоматического привода [3, с. 57–59].

4 Анализ характеристик регулирования момента трения сцепления от времени, угла открытия дроссельной заслонки карбюратора и в зависимости от частоты вращения коленчатого вала двигателя [1, с. 15–20; 5, с. 11–14].

5 Принципиальная схема системы автоматического управления сцеплением [4, с. 38–39].

6 Принципиальная схема электрогидравлической системы автоматического сцепления [4, с. 39–40].

7 Принципиальная схема системы автоматического управления сцеплением АСТС [4, с. 40–41].

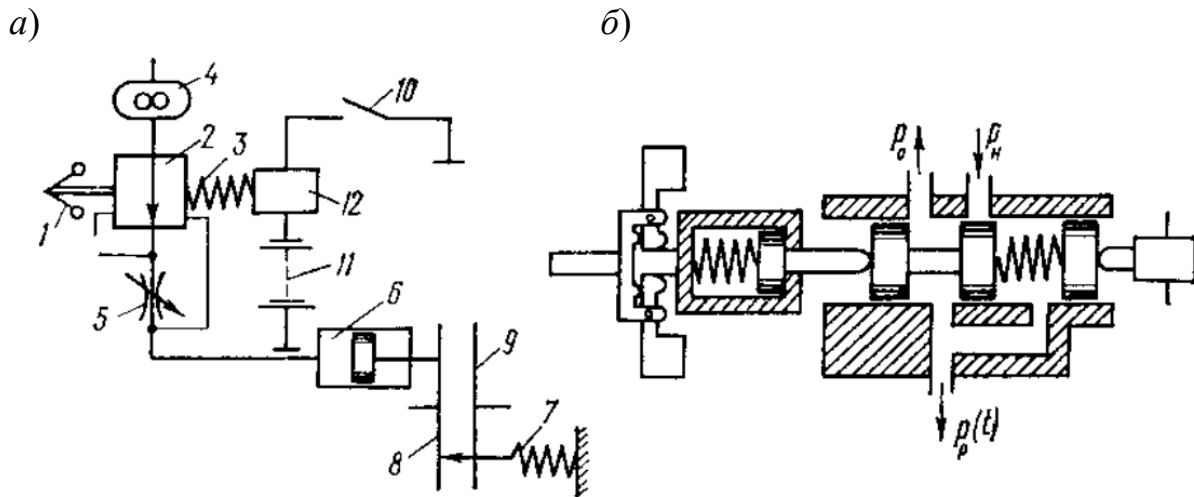
8 Принципиальная схема автоматизированной системы управления сцеплением с гидроприводом автомобиля [4, с. 41–45].

2.2 Расчетное задание

На рисунке 2.1 показана принципиальная схема системы автоматического управления нормально разомкнутым сцеплением. Требуется:

- получить уравнение, описывающее график изменения давления на выходе регулятора p_p в зависимости от давления насоса p_n и смещения золотника [1, с. 33–34];
- записать формулу для определения момента трения, развиваемого сцеплением [2, с. 10];
- построить график изменения давления на выходе регулятора p_p

в зависимости от давления насоса p_n и смещения золотника [1, с. 33–34].



a – схема системы; *б* – устройство регулятора давления; 1 – центробежный регулятор; 2 – золотник регулятора давления; 3 – пружина; 4 – гидронасос; 5 – дроссель; 6 – гидроцилиндр сцепления; 7 – отжимные пружины сцепления; 8 – ведущий диск сцепления; 9 – ведомый диск сцепления; 10 – электрические контакты; 11 – аккумуляторная батарея; 12 – рычаг переключения передач; p_n – давление насоса; $p_p(t)$ – давление на выходе регулятора; p_c – давление на сливе

Рисунок 2.1 – Принципиальная схема системы автоматического управления нормально разомкнутым сцеплением

Содержание отчета

В отчете следует привести краткие ответы на вопросы, сформулированные в подразд. 2.1, представить результаты, полученные в ходе решения задачи подразд. 2.2.

Контрольные вопросы

- 1 Какие цели преследует автоматизация управления сцеплением?
- 2 В чем заключается различие между автоматизированными и автоматическими системами управления сцеплением?
- 3 Перечислите элементный состав автоматической системы управления сцеплением.
- 4 Выполните анализ достоинств и недостатков различных характеристик регулирования момента трения, применяемых в автоматических сцеплениях.
- 5 Прокомментируйте результаты, полученные при выполнении расчетного задания.

3 Антиблокировочные и противобуксовочные системы автомобиля

Цель занятия:

- изучение принципов устройства и работы антиблокировочной и противобуксовочной систем автомобиля;
- освоение методики расчета рабочих характеристик антиблокировочной системы (АБС) автомобиля.

3.1 Список вопросов, изучаемых на занятии

- 1 Назначение и принцип действия антиблокировочных систем [3, с. 73–74; 4, с. 84].
- 2 Структурная схема АБС/ПБС [3, с. 76].
- 3 Принципы, используемые для регулирования момента трения колес, одного моста [3, с. 75–76; 4, с. 89].
- 3 Схемы установки элементов АБС на автомобиле [4, с. 77].
- 4 Устройство и принцип действия электропневматического модулятора АБС [3, с. 79–80].
- 5 Назначение противобуксовочной системы [4, с. 96].
- 6 Функциональная схема АБС/ПБС фирмы «Бош» [4, с. 97].

3.2 Расчет характеристик регулирования давления в АБС с двухфазным алгоритмом

Принципиальная схема АБС показана на рисунке 3.1.

Допущения, принимаемые при расчетах:

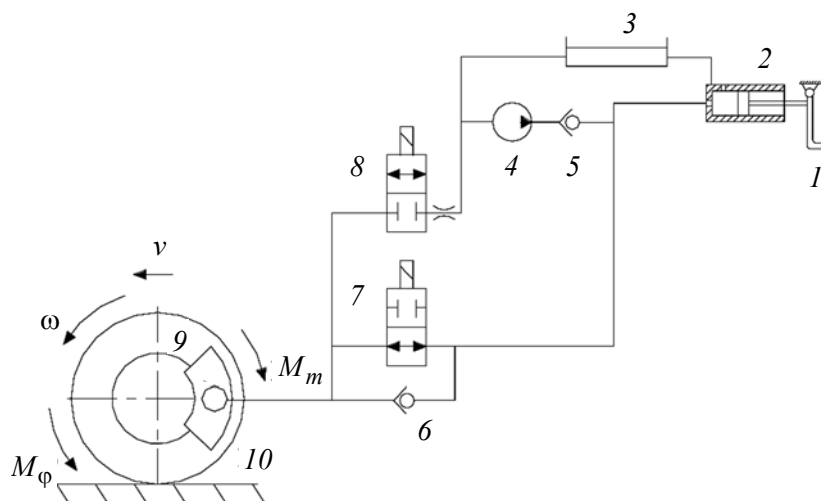
- рассматривается экстренное торможение автомобиля, поэтому считается, что имеет место идеальное распределение тормозных сил по мостам автомобиля;
- в качестве объекта регулирования взято одиночное колесо автомобиля;
- силы сопротивления воздуха не учтены;
- коэффициент сцепления под всеми колесами автомобиля одинаков;
- колебания подвески не учитываются.

Объект регулирования

Уравнение движения колеса как объекта регулирования

$$M_m - M_\varphi = J \frac{d\omega}{dt}, \quad (3.1)$$

где J – момент инерции колеса относительно оси вращения.



Исполнительная часть: 1 – педаль тормоза; 2 – главный тормозной цилиндр; 3 – гидробак; 4 – насос; 5 – обратный клапан насоса

Модулятор: 6 – обратный клапан модулятора; 7 – впускной клапан модулятора; 8 – выпускной клапан модулятора

Объект регулирования: 9 – тормозной механизм; 10 – колесо; v – линейная скорость автомобиля; ω – угловая скорость колеса; M_m – тормозной момент, развиваемый тормозным механизмом; M_ϕ – тормозной момент по сцеплению колеса с дорогой

Рисунок 3.1 – Принципиальная схема АБС

Тормозной момент, развиваемый тормозным механизмом, примем изменяющимся по линейному закону:

$$M_m = M_m^0 + \text{sign}(\sigma_s) k_m t \quad \text{при} \quad M_m < M_m^{\max}; \quad (3.2)$$

$$M_m = M_m^{\max} \quad \text{при} \quad M_m \geq M_m^{\max}, \quad (3.3)$$

где M_m^0 – тормозной момент в начале цикла регулирования;

k_m – коэффициент пропорциональности;

σ_s – релейная функция.

Тормозной момент

$$M_\phi = G \phi r_\delta, \quad (3.4)$$

где G – вес автомобиля, приходящийся на колесо;

ϕ – продольный коэффициент сцепления шины с дорогой;

r_δ – динамический радиус качения колеса.

Вес G для колеса переднего моста

$$G = mg \left(1 - \psi + \frac{dv}{dt} \chi \right), \quad (3.5)$$

для заднего –

$$G = mg \left(\psi - \frac{dv}{dt} \chi \right), \quad (3.6)$$

где m – масса автомобиля;

g – ускорение земного тяготения;

ψ – относительная нагрузка на задний мост;

χ – относительная высота центра тяжести автомобиля;

v – скорость автомобиля.

Основной регулировочной характеристикой колеса как объекта регулирования АБС является зависимость коэффициента сцепления φ от коэффициента относительного проскальзывания колеса s :

$$\varphi = C_1 (1 - e^{-C_2 s}) - C_3 s. \quad (3.7)$$

В уравнении (3.7) C_1 , C_2 , C_3 – некоторые коэффициенты, а s определяется как

$$s = 1 - \frac{\omega r_d}{v}. \quad (3.8)$$

В уравнениях (3.7) и (3.8) необходимо учитывать, что на фазе растормаживания знак перед φ меняется на противоположный.

Поскольку рассматривается режим экстренного торможения, можно ввести дополнительное уравнение связи

$$\frac{dv}{dt} = -g\varphi. \quad (3.9)$$

Сигналы на растормаживание и затормаживание АБС получает при достижении некоторых порогов срабатывания по коэффициенту относительного проскальзывания. В результате имеем на фазе торможения

$$\sigma_s = 1 \quad \text{при} \quad s < s_1; \quad (3.10)$$

$$\sigma_s = -1 \quad \text{при} \quad s \geq s_1. \quad (3.11)$$

На фазе растормаживания

$$\sigma_s = -1 \quad \text{при} \quad s > s_2; \quad (3.12)$$

$$\sigma_s = 1 \quad \text{при} \quad s \leq s_2. \quad (3.13)$$

Исходные данные

Исходные данные, необходимые для проведения расчётов, приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Параметры математической модели

Вариант	1	2	3	4	5	6	7
v_0 , м/с	25	20	22	15	18	19	24
r_0 , м	0,302	0,302	0,308	0,308	0,314	0,308	0,321
J , кг·м ²	0,816	0,869	0,893	0,963	1,042	1,042	1,173
k_m , Н·м/с	15000	20000	17500	18000	17500	17500	16000
M_m^{\max} , Н·м	2000	2750	2500	2550	2600	2500	2100
m , кг	1350	2500	1500	1800	1775	1600	1900
ψ	0,5	0,46	0,51	0,47	0,53	0,48	0,49
χ	0,215	0,21	0,205	0,212	0,22	0,21	0,205
C_1	0,4	0,2	0,25	0,45	0,15	0,45	0,18
C_2	0,1	0,05	0,05	0,125	0,035	0,125	0,035
s_1	0,35	0,4	0,5	0,33	0,49	0,33	0,35
s_2	0,11	0,15	0,21	0,13	0,18	0,13	0,11

Задание

1 Привести функциональную и конструктивную схемы гидравлической антиблокировочной системы для реального автомобиля и описать её работу.

2 Построить график зависимости коэффициента сцепления колеса с дорогой от коэффициента относительного проскальзывания.

3 Привести уравнения (3.1)–(3.9) к системе дифференциальных уравнений для dv/dt и $d\omega/dt$ и решить её с помощью численных методов в среде Matlab.

4 Для заданной начальной скорости торможения $v_0 = \omega_0 r_{k0}$ рассчитать как минимум два цикла регулирования АБС для переднего и заднего колёс и построить для них графики $v(t)$ и $\omega r_0(t)$.

5 Оценить и проанализировать результаты решения задачи.

6 Дать рекомендации по выбору порогов срабатывания АБС с целью увеличения степени использования коэффициента сцепления.

Содержание отчета

Привести краткие ответы на вопросы, сформулированные в подразделе 3.1, представить результаты, полученные в ходе решения индивидуального задания.

Контрольные вопросы

1 Для чего предназначены АБС и ПБС?

2 Перечислите элементный состав АБС.

3 Перечислите принципы регулирования моментов трения колес.

4 Перечислите достоинства и недостатки различных схем установки АБС на автомобиле.

5 Как устроен и работает модулятор АБС?

4 Автоматическое управление ступенчатой коробкой передач

Цель занятия – изучение принципов устройства и работы автоматических систем управления ступенчатыми коробками передач.

4.1 Список вопросов, изучаемых на занятии

1 Цели и задачи автоматического управления гидромеханической коробкой передач (ГМП) [4, с. 46].

2 Устройство, принцип действия гидравлической системы автоматического переключения ступеней в ГМП [4, с. 47–51].

3 Назначение, устройство, принцип действия гидравлических датчиков нагрузки двигателя [4, с. 52, 53] и скорости движения автомобиля [4, с. 54–56].

4 Назначение, устройство, принцип действия клапанов плавного включения фрикционов [4, с. 57, 58].

5 Организация безразрывного переключения ступеней в ГМП [4, с. 59].

6 Электрогидравлическая система управления ГМП [4, с. 76–79]

Содержание отчета

Привести краткие ответы на вопросы, сформулированные в подразд. 4.1.

Контрольные вопросы

1 Каковы цели автоматизации управления ГМП?

2 Как устроена и работает гидравлическая система автоматического управления ГМП?

3 В чем сущность безразрывного переключения ступеней в ГМП? Как оно реализуется?

5 Автоматическое управление подвеской автомобиля

Цель занятия – изучение принципов устройства и работы автоматических систем управления подвеской автомобиля.

5.1 Список вопросов, изучаемых на занятии

1 Задачи регулирования подвески автомобиля [5, с. 106].

2 Характеристики упругости подвески автомобиля при различных его нагрузках [5, с. 107].

3 Схема регулирования жесткости подвески [5, с. 108].

4 Схема регулирования положения кузова автомобиля, пневматическая подвеска [5, с. 109].

5 Схема регулирования положения кузова автомобиля, гидропневматическая подвеска [5, с. 110].

6 Схема гидропневматической подвески автомобиля «Ситроен» [5, с. 111–114].

7 Регулирование коэффициента сопротивления амортизаторов [5, 115–117].

Содержание отчета

Привести краткие ответы на вопросы, сформулированные в подразд. 5.1.

Контрольные вопросы

1 Зачем необходимо регулировать подвеску автомобиля?

2 С помощью каких средств обеспечивается регулирование жесткости подвески?

3 Как обеспечивается регулирование коэффициента сопротивления амортизатора?

4 Как устроена и работает адаптивная подвеска?

6 Следящие механизмы в приводах автомобилей

Цель занятия – изучение принципов устройства и работы следящих приводов, применяемых в тормозных системах и в системах рулевого управления.

6.1 Список вопросов, изучаемых на занятии

1 Функциональная схема следящего привода [5, с. 119].

2 Устройство, принцип следящих механизмов прямого и обратного действия в пневматических приводах тормозных систем [5, с. 120–124].

3 Функциональная схема следящей системы рулевого управления автомобиля [5, с. 125].

4 Принципиальная схема гидравлического усилителя рулевого управления [5, с. 126–127].

Содержание отчета

Привести краткие ответы на вопросы, сформулированные в подразд. 6.1.

Контрольные вопросы

1 Для чего предназначены следящие приводы?

2 Перечислите области применения следящих приводов для управления механизмами и системами автомобиля.

3 Как устроены и работают следящие механизмы прямого и обратного действия в пневматическом тормозном приводе?

4 Объясните устройство и принцип действия гидроусилителя рулевого управления.

Список литературы

1 **Селифонов, В. В.** Автоматические системы автомобиля: учебник для вузов / В. В. Селифонов. – Москва: Гринлайт, 2011. – 312 с.

2 **Аврамов, В. П.** Основы автоматики транспортных машин / В. П. Аврамов, Е. Е. Александров. – Киев: Вища школа, 1986. – 87 с.

3 Теория автоматических систем / Л. А. Молибощко [и др.]; под ред. Л. А. Молибощко. – Минск: БГПА, 2001. – 121 с.

4 **Площаднов, А. Н.** Автоматические системы колесных и гусеничных транспортно-тяговых машин / А. Н. Площаднов, И. В. Курсов. – Рубцовск: Рубцовский индустриальный ин-т, 2009. – 108 с.

5 **Черепанов, Л. А.** Автоматические системы автомобиля / Л. А. Черепанов. – Тольятти: Тольяттинский гос. ун-т, 2006. – 132 с.