

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

«Курганский государственный университет»

Кафедра «Гусеничные машины и прикладная механика»

**ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕМЕНТОВ
СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

Методические указания
к выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Управление техническими системами»
для студентов специальности 190202.65

Курган 2013

Кафедра: «Гусеничные машины»

Дисциплина: «Управление техническими системами»
(специальность 190202.65)

Составили: д-р техн. наук В.Б. Держанский
аспирант Е.К. Карпов

Утверждены на заседании кафедры «23» мая 2013 г.

Рекомендованы методическим советом университета «6» июня 2013 г.

ВВЕДЕНИЕ

Динамические свойства систем автоматического управления (САУ) и их элементов определяются частотными и временными характеристиками, а также устойчивостью. При математическом описании САУ и её элементов дифференциальными уравнениями представляется возможным определять динамические свойства методами теории регулирования, не решая уравнений.

Лабораторные работы выполняются с целью закрепления теоретических знаний и приобретения навыков расчёта динамических свойств элементов САУ.

1 СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

При выполнении лабораторных работ определяются динамические свойства элементов САУ в соответствии с нижеследующим графиком (таблица 1). Каждый студент выполняет задание в соответствии с исходными данными, варианты которых приводятся в разделе 2. При выполнении работы целесообразно использовать компьютерное моделирование.

Таблица 1 – График выполнения работ

Основные этапы	Номера занятий						
	1	2	3	4	5	6	7
1 Изучение задания. Расчёт амплитудно-фазовых частотных характеристик	+						
2 Определение влияния обратных связей на качество переходных процессов		+	+				
3 Анализ устойчивости систем по алгебраическим критериям				+			
4 Определение закона автоматического переключения передач					+	+	
5 Оформление отчёта и защита работы							+

2 РАСЧЁТ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

2.1 Амплитудно-фазовые частотные характеристики линейных элементов

При исследовании систем управления решается задача определения параметров колебаний на входе системы при известных параметрах входного

сигнала. При действии гармонического входного сигнала $x = \sin \omega t$ (ω - частота, t - время), реакцией линейной системы с передаточной функцией $W(\omega)$ является гармоническая функция той же частоты $y = A(\omega) \sin(\omega t + \psi(\omega))$, амплитуда $A(\omega)$ и фаза $\psi(\omega)$ которой зависят от частоты. Амплитудно-фазовые частотные характеристики определяются по передаточной функции элементов.

Построить амплитудно-фазовые частотные (АФЧХ), амплитудно-частотные (АЧХ) и фазовые частотные характеристики (ФЧХ) элементов систем автоматического регулирования с нижеследующими передаточными функциями

$$1 \quad W(s) = \frac{K_y}{T_2^2 S^2 + T_1 S + 1};$$

$$2 \quad W(s) = \frac{K_y}{T_2^2 S^2 + T_1 S - 1};$$

$$3 \quad W(s) = T_2^2 S^2 + T_1 S + 1;$$

$$4 \quad W(s) = T_2^2 S^2 + T_1 S - 1;$$

$$5 \quad W(s) = \frac{K_y}{T_2^2 S^2 + 1};$$

$$6 \quad W(s) = T_2^2 S + 1;$$

$$7 \quad W(s) = e^{-\tau s};$$

$$8 \quad W(s) = \frac{K_\epsilon (T_\epsilon S + 1) l^{-\tau s}}{S(T_{2\epsilon}^2 S + 2\xi T_{2\epsilon} + 1)}.$$

Значения параметров приведены в таблице 2.

Для элемента 1 провести анализ и изобразить, как изменится АФЧХ при $T_1 = 0$ и $T_1 < 0$.

Примечание: для элемента 8 - передаточной функции водителя – целесообразно построить логарифмические частотные характеристики.

Таблица 2 – Варианты заданий и значения параметров

Вариант	Значения параметров							
	K_y	T_2, c	T_2/T_1	τ, c	K_ϵ	T_ϵ	$T_{2\epsilon}$	ξ
1	2	2,0	0,1	0,2	29	1	0,20	0,4
2	4	1,5	0,2	0,3	28	0,9	0,25	0,5
3	6	1,0	0,4	0,4	27	0,8	0,30	0,6
4	8	1,5	0,5	0,3	26	0,9	0,25	0,5
5	10	2,0	0,6	0,2	25	1,0	0,20	0,4
6	8	1,5	0,5	0,3	26	0,9	0,25	0,5
7	6	1,0	0,4	0,4	27	0,8	0,30	0,6
8	4	1,5	0,3	0,3	28	0,9	0,25	0,5
9	2	2,0	0,2	0,2	29	1,0	0,20	0,4
10	5	1,5	0,1	0,3	30	0,8	0,30	0,5

Пример расчёта. Расчёт выполняется для элемента 1 со значениями параметров варианта 1. Амплитуда $A(\omega)$ и фаза $\psi(\omega)$ колебаний определяются по уравнениям:

$$A(\omega) = \sqrt{\operatorname{Re}^2(\omega) + \operatorname{Im}^2(\omega)}, \quad \psi(\omega) = -\operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Im}(\omega)}{\operatorname{Re}(\omega)} + k\pi, \quad (1)$$

где $\operatorname{Re}(\omega)$ и $\operatorname{Im}(\omega)$ - расчётная и вещественная части передаточной функции, $k=0,1,2,\dots$

Для определения этих характеристик необходимо от переменного Лапласа S перейти в частотную область, используя равенство $S=j\omega$ (j - мнимая единица $j = \sqrt{-1}$).

$$\text{Передаточная функция сводится к виду } W(\omega) = \frac{K_y}{1 - T_2^2 \omega^2 + jT_1 \omega}. \quad (2)$$

Для избавления от мнимого числа в знаменателе числитель и знаменатель умножаются на комплексно сопряжённое число $1 - T_2^2 \omega^2 - jT_1 \omega$. Числитель передаточной функции содержит реальную и мнимую части

$$W(\omega) = \frac{K_y (1 - T_2^2 \omega^2) - jK_y T_1 \omega}{(1 - T_2^2 \omega^2)^2 + T_1^2 \omega^2}. \quad (3)$$

Амплитудно-фазовые частотные характеристики определяются по формулам

$$A(\omega) = \frac{K_y [(1 - T_2^2 \omega^2)^2 - T_1^2 \omega^2]}{(1 - T_2^2 \omega^2)^2 + T_1^2 \omega^2}, \quad \psi(\omega) = -\operatorname{arctg} \frac{T_1 \omega}{1 - T_2^2 \omega^2}. \quad (4)$$

Выполнять построение графиков АФЧХ, АЧХ и ФЧХ можно с помощью программного пакета математического проектирования Mathcad:

Исходные значения параметров:

$$K := 2 \quad T_1 := 20 \quad T_2 := 2$$

Задание передаточной функции:

$$W(\omega) := \frac{K}{T_2^2 \cdot (\omega \cdot i)^2 + T_1 \cdot (\omega \cdot i) + 1} \quad (5)$$

Определение АЧХ (рисунок 1а):

$$A(\omega) := \sqrt{\operatorname{Re}(W(\omega))^2 + \operatorname{Im}(W(\omega))^2} \quad (6)$$

Определение ФЧХ (рисунок 1б):

$$\psi(\omega) := \operatorname{if} \left(\operatorname{Im}(W(\omega)) > 0, -360 + \operatorname{arg}(W(\omega)) \cdot \frac{180}{\pi}, \operatorname{arg}(W(\omega)) \cdot \frac{180}{\pi} \right) \quad (7)$$

АФЧХ определяется с помощью присвоения осям координат действительной $\operatorname{Re}(W(|\omega|))$

$$\text{и мнимой } \operatorname{Im}(W(|\omega|)) \quad (8)$$

$$(9)$$

частей функции (рисунок 2). При $T_1=0$ кривая АФЧХ вырождается в два отрезка, так как фаза равна 0 или $-k\pi$. При $T_1 < 0$ у фазовой характеристики изменяется знак.

Вместе с этим рассчитываются логарифмическая амплитудно-частотная характеристика (ЛАЧХ, $1 \text{ дБ} = 20 \lg A(\omega)$) и логарифмическая фазовая частотная характеристика (рисунок 3):

определение интервала расчёта и шага переменной:

$$\omega := 0.001, 0.002.. 100$$

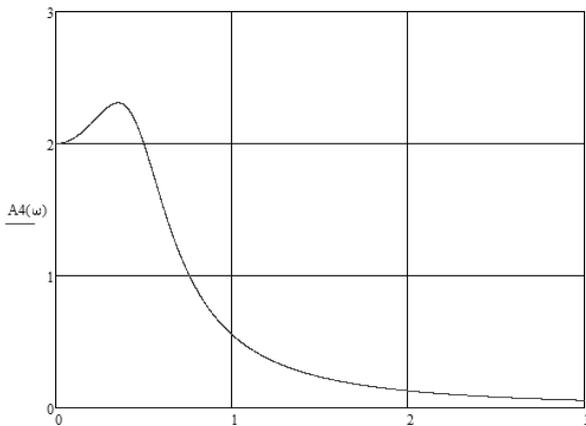
ЛАЧХ:

$$L(\omega) := 20 \cdot \log(|W(\omega)|)$$

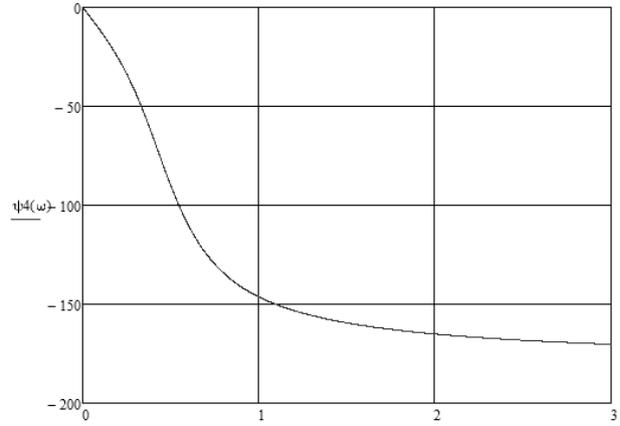
ЛФЧХ:

$$f(\omega) := \arg(W(\omega)) \cdot \frac{180}{\pi} \quad (10)$$

$$k1 := -180$$



а) ω (рад/сек)



б) ω (рад/сек)

Рисунок 1 – АЧХ и ФЧХ динамического звена второго порядка

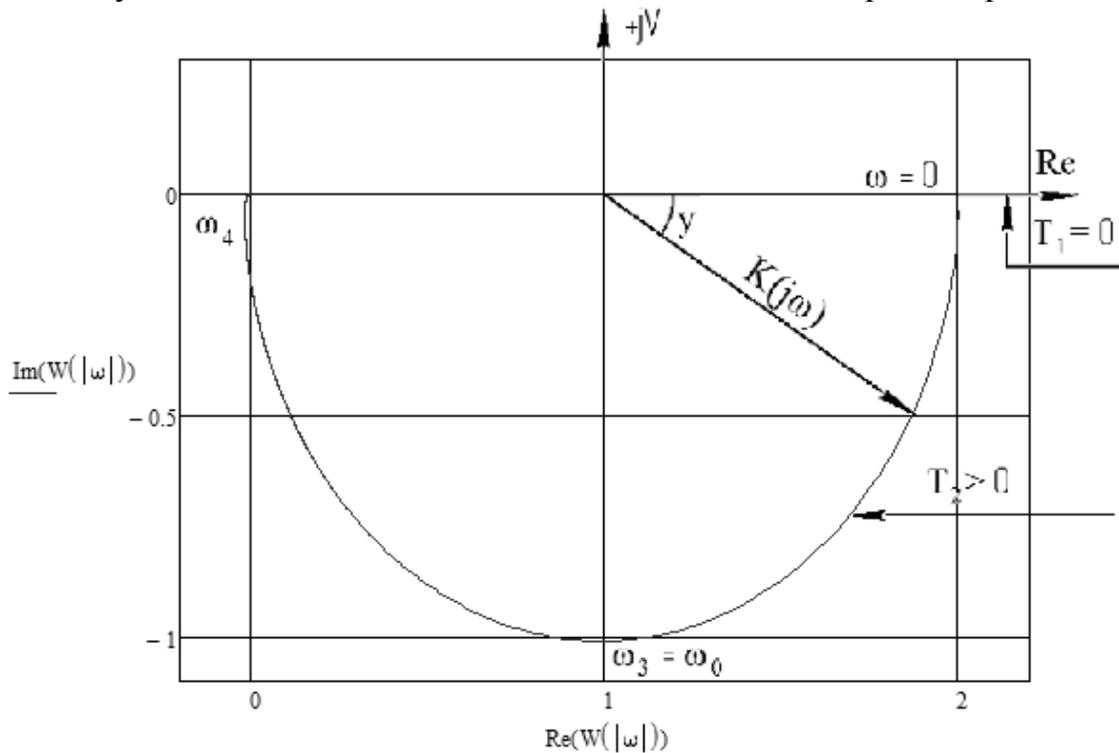


Рисунок 2 – АФЧХ динамического звена второго порядка

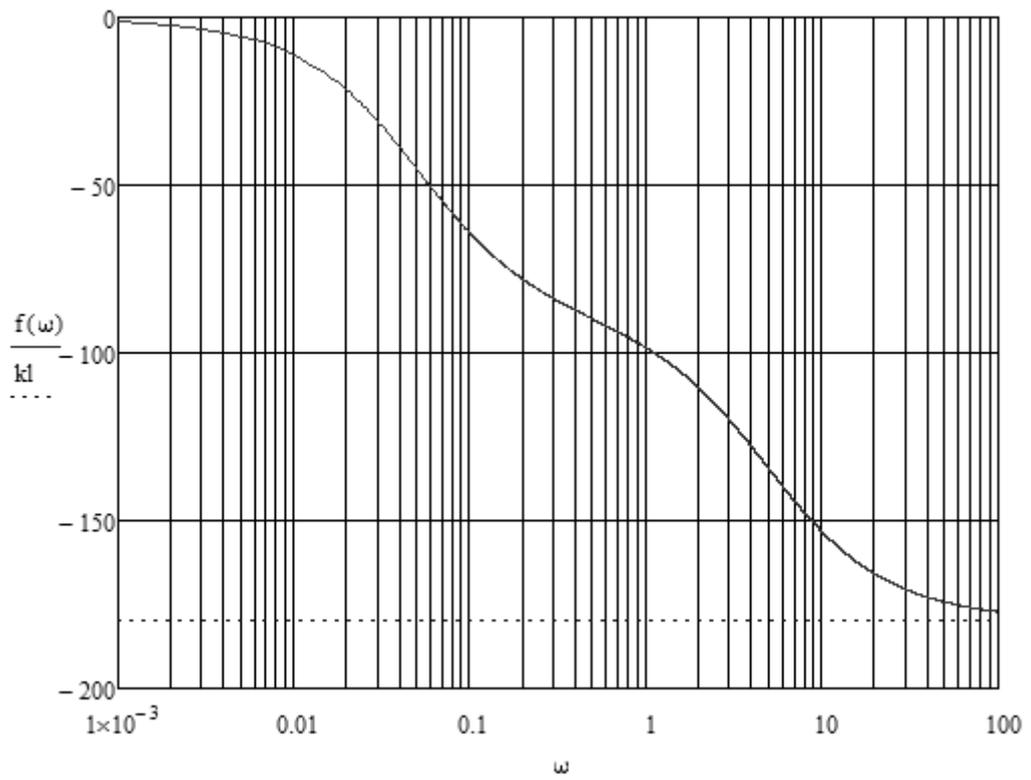
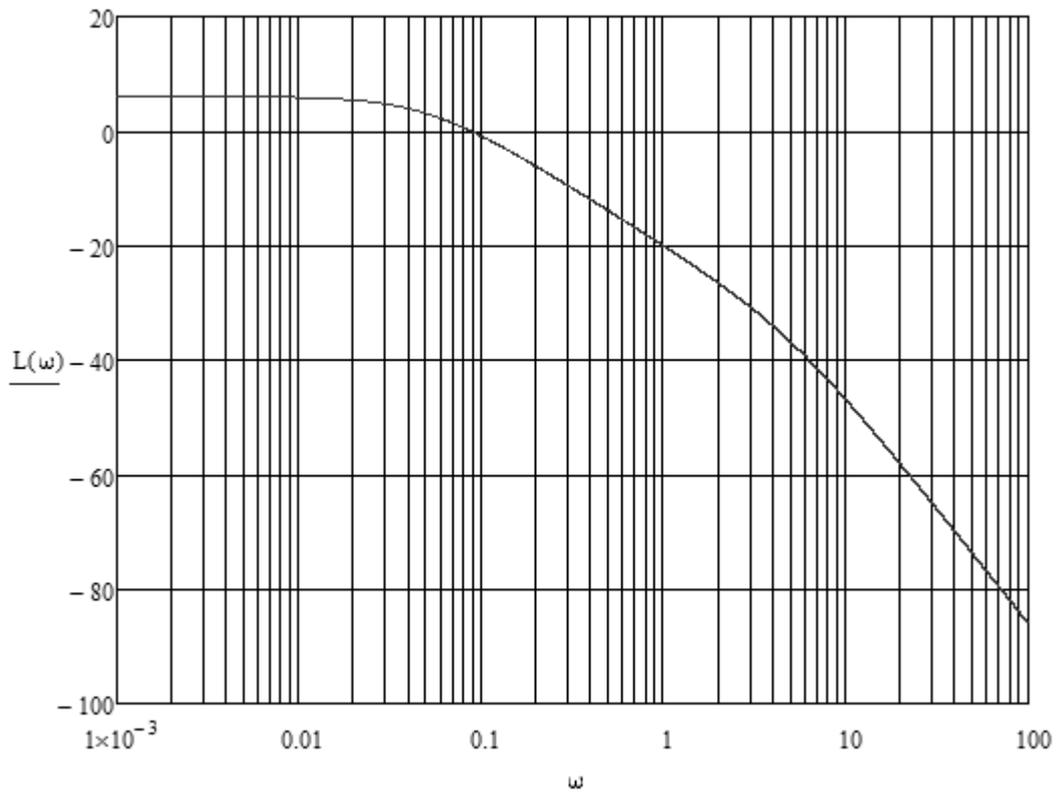


Рисунок 3 – ЛАЧХ и ЛФЧХ

2.2 Влияние обратных связей на качество переходных процессов

Для изменения динамических свойств объектов регулирования вводятся обратные связи. Целью работы является определение влияния жёсткой и гибкой (положительных и отрицательных) обратных связей на качество переходных процессов системы автоматического регулирования (САР), описываемых дифференциальным уравнением второго порядка. Значения коэффициентов жёсткой обратной связи K_{OC} и гибкой $K_{ГОС}$ приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Коэффициенты обратных связей

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коэффициенты $K_{OC}, K_{ГОС}$	0,38	0,19	0,12	0,10	0,08	0,10	0,12	0,19	0,38	0,15

Контрольный пример

Передаточная функция элемента САР, описываемого дифференциальным уравнением второго порядка, определяется по формуле

$$W(s) = \frac{K_y}{T_2^2 S^2 + T_1 S + 1}. \quad (11)$$

Переходной процесс - реакция на управление в виде единичной функции $I(t)$ определяется по уравнению

$$H(t) = K_y (1 - (\sin^{-1} \varphi) e^{-\alpha t}) \sin(\beta t + \varphi), \quad (12)$$

где α и β - реальная и мнимая части корней характеристического уравнения, φ - фаза, $\alpha = -\frac{T_1}{2T_2}$, $\beta = \pm \frac{\sqrt{T_1^2 - 4T_2^2}}{2T_2}$, $\varphi = -\arctg \frac{\beta}{\alpha}$. (13)

Вид переходной функции показан на рисунке 4 (график 1) и оценивается по следующим показателям:

- перерегулирование $\sigma = \frac{H_{MAX} - H_{уст}}{H_{уст}} 100\%$, (14)

- длительность регулирования $t_{ПР}$,

- быстродействие t_0 ,

- колебательность - число колебаний за время регулирования.

При создании жёсткой обратной связи с коэффициентом K_{OC} передаточная функция системы $W_C(s)$ определяется по формуле

$$W_C(s) = \frac{W(s)}{1 \pm W(s) \cdot W_{OC}(s)}, \quad (15)$$

знак «+» соответствует отрицательной обратной связи, а «-» - положительной.

Построение переходных функций в программе Mathcad осуществляется следующим образом:

$$W(s) := \frac{K}{T_2^2 \cdot (s)^2 + T_1 \cdot (s) + 1} \quad (16)$$

Операция `invlaplace` находится в панели символьных преобразований:

$$h(t) := W(s) \cdot \frac{1}{s} \text{ invlaplace, } s \rightarrow 2 - \frac{5 \cdot \sqrt{6} \cdot \sinh(\sqrt{6} \cdot t) \cdot e^{-\frac{5 \cdot t}{2}}}{6} - 2 \cdot \cosh(\sqrt{6} \cdot t) \cdot e^{-\frac{5 \cdot t}{2}} \quad (17)$$

В соответствии с формулами жёсткой обратной связи задаются передаточные функции $W_{c1}(s)$ и $W_{c2}(s)$.

Переходные функции полученных систем определяются графиками, представленными на рисунке 4. Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1 Введение жёсткой обратной связи не меняет характер переходного процесса - он остаётся колебательным затухающим.

2 Статистический передаточный коэффициент усиления K_y при положительной обратной связи увеличивается, а при отрицательной - уменьшается.

3 Жёсткая обратная связь изменяет постоянные времени T_1 и T_2 .

При положительной обратной связи постоянные времени увеличиваются, а при отрицательной - уменьшаются. Изменение постоянных времени приводит к изменению реальной и мнимой частей корней характеристического уравнения. При положительной обратной связи реальная часть возрастает, следовательно, затухание увеличивается, а при отрицательной связи - наоборот.

При создании гибкой обратной связи с коэффициентом $K_{гос}$ передаточная функция системы определяется по формуле

$$W_c(s) = \frac{W(s)}{1 \pm W(s) \cdot K_{гос} \cdot s} \quad (18)$$

Переходные функции системы при положительной гибкой обратной связи определяются графиками на рисунке 5. Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

Гибкая обратная связь не изменяет статистического коэффициента усиления постоянной T_2 . Изменяется лишь постоянная времени T_1 . При положительной связи эта постоянная уменьшается ($T_1' = T_1 - K_y K_{гос} < T_1$), а при отрицательной - увеличивается ($T_1' = T_1 + K_y K_{гос} > T_1$). Следовательно, реальная часть корней уравнения уменьшается при введении положительной обратной связи и увеличивается при введении отрицательной. Регулируя величину коэффициен-

та $K_{ГОС}$ гибкой обратной связи и меняя её знак, можно получить требуемый характер переходных процессов. Влияние реальной части на амплитудные и фазовые частотные характеристики показано на рисунке 6.

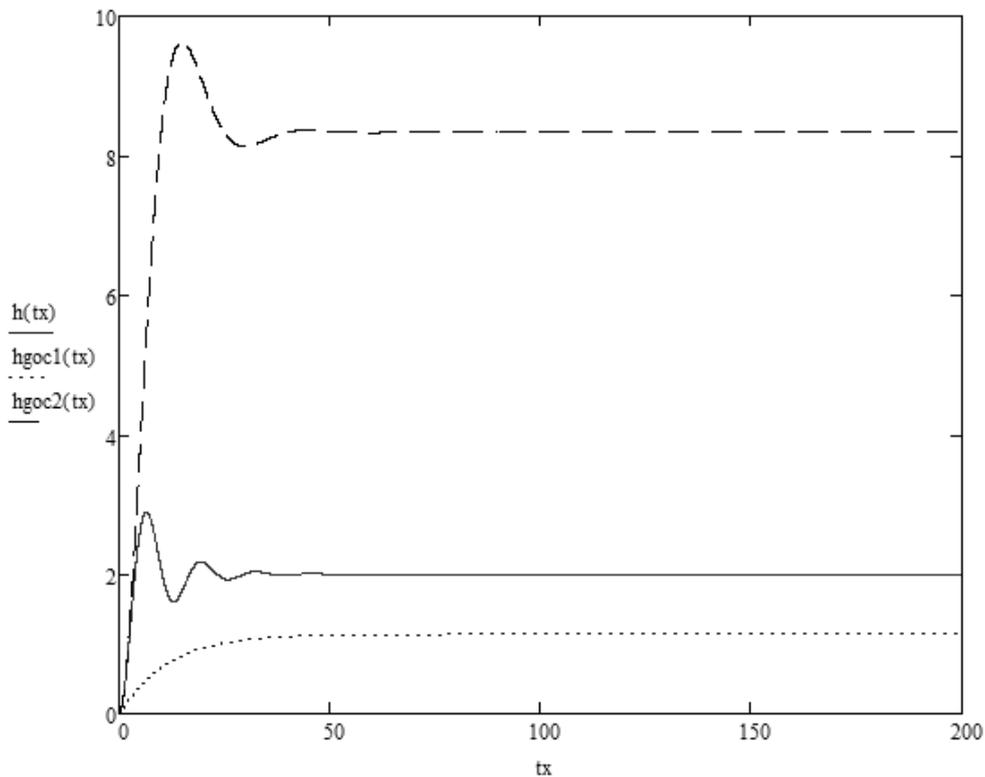
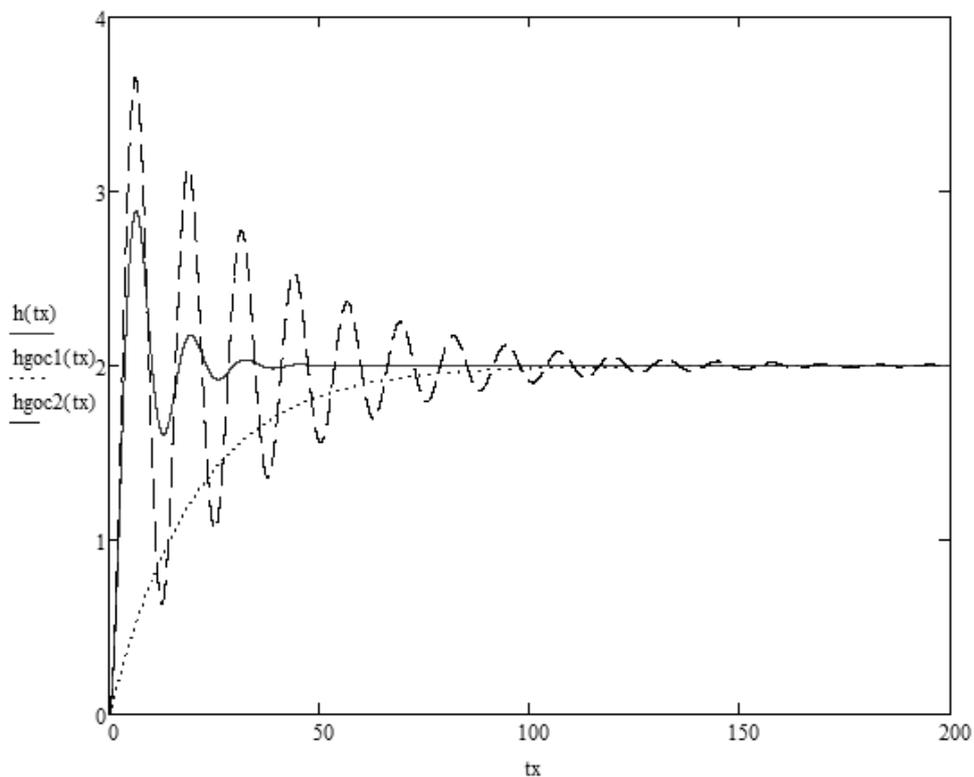


Рисунок 4 – Влияние жёсткой обратной связи на качество переходного процесса



процесса
Рисунок 5 – Влияние гибкой обратной связи на качество переходного процесса

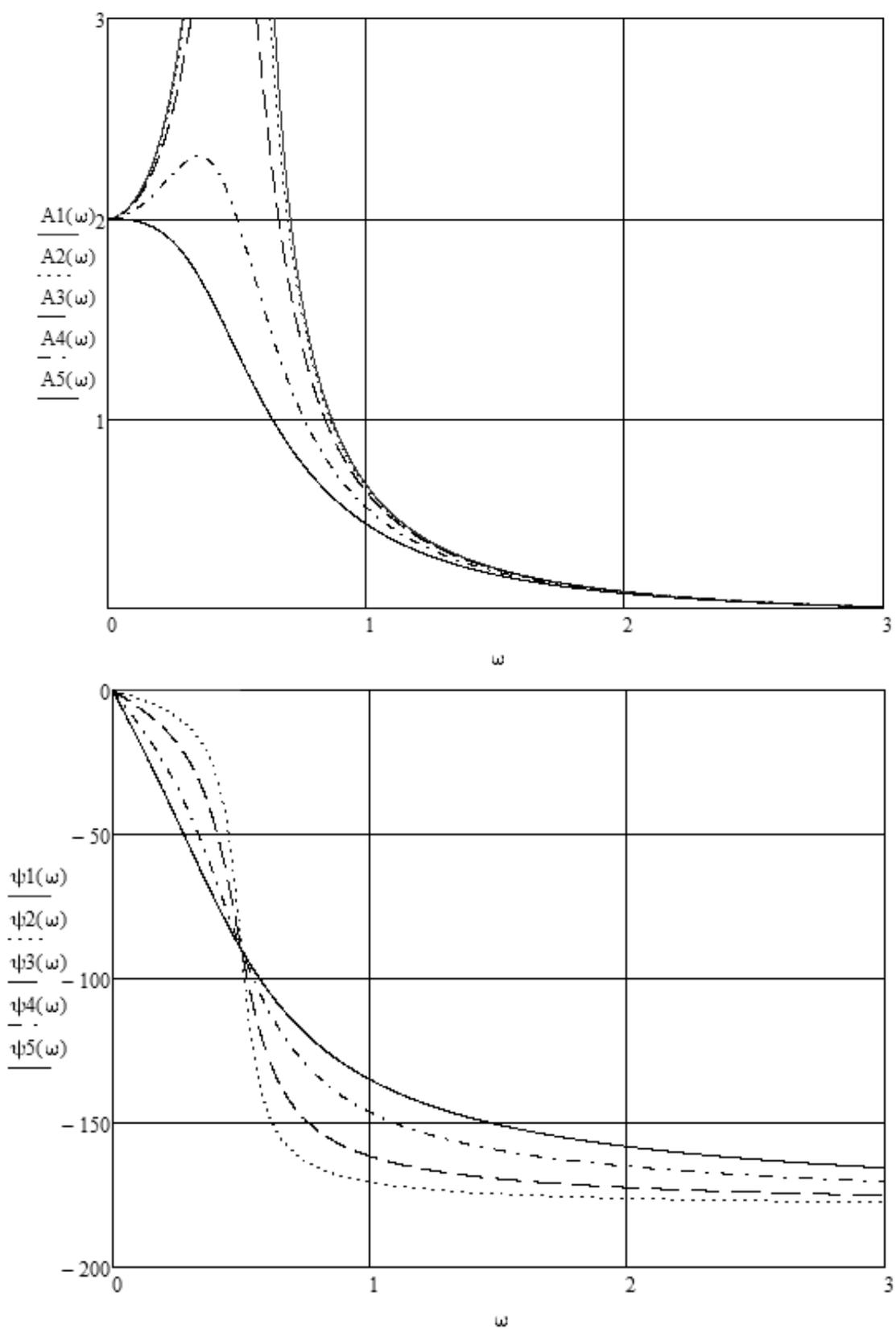


Рисунок 6 – Частотные характеристики звеньев второго порядка с различными коэффициентами затухания

2.3 Определение устойчивости систем автоматического регулирования по алгебраическим критериям

Под устойчивостью понимается свойство системы возвращаться в установившийся режим после выхода из него в результате действия возмущений управления или внешней среды.

При описании динамических свойств системы аналитически - дифференциальным уравнением, устойчивость определяется по алгебраическим критериям Раусса-Гурвица. Для исследования систем третьего порядка используется диаграмма И. А. Вышнеградского. Целью работы является определение устойчивости системы по критерию Раусса-Гурвица и по диаграмме Вышнеградского. Для этого система второго порядка, приведённая в задании 1, дополняется инерционным апериодическим звеном, включённым последовательно. Передаточная функция этого звена определяется уравнением $W(s) = \frac{1}{T_3 S + 1}$.

Значения постоянной времени T_3 приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Значения постоянной времени инерционного апериодического звена

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Значения T_3, c	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0	1,5	1,0	1,5	2,0	1,5

Полученная система управления исследуется на устойчивость по критерию Раусса-Гурвица и по диаграмме Вышнеградского.

Контрольный пример

Передаточная функция системы последовательно включённых элементов определяется произведением $W(s) = W_1(s)W_2(s)$. Для заданных элементов

$$W_c(s) = \frac{K_y}{T_2^2 + T_1 S + 1} \cdot \frac{1}{T_3 S + 1} = \frac{K_y}{T_2^2 T_3 S^3 + (T_1 T_3 + T_2^2) S^2 + (T_1 + T_3) S + 1}. \quad (19)$$

Характеристическое уравнение исследуемой системы управления имеет вид $A(s) = \sum_{i=0}^n a_i S^{n-i}$. При $n=3$

$$A(s) = a_0 S^3 + a_1 S^2 + a_2 S + a_3, \quad (20)$$

где $a_0 = T_2^2 T_3$, $a_1 = (T_1 T_3 + T_2^2)$, $a_2 = (T_1 + T_3)$, $a_3 = 1$.

Для устойчивости системы по критерию Раусса-Гурвица необходимо и достаточно, чтобы при $a_0 > 0$ все n определители матрицы Гурвица были положительны.

Для характеристического уравнения составляется квадратная матрица Гурвица

$$\{\Gamma\} = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix}. \quad (21)$$

Определители матрицы составляют

$$\Delta_1 = a_1, \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix}, \Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix}. \quad (22)$$

При $\Delta_1 = a_1 > 0$, $\Delta_2 = a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0$, $\Delta_3 = \det = a_3 \Delta_2 > 0$.

Так как все коэффициенты характеристического уравнения a_i положительны, то устойчивость обеспечивается при положительности второго определителя $a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0$.

И. А. Вышнеградский показал, что для устойчивости системы третьего порядка с характеристическим уравнением $A(s)$ вида (20) необходимо и достаточно, чтобы:

- все коэффициенты a_i были положительны;
- произведение средних коэффициентов было больше произведения крайних $a_1 a_2 > a_0 a_3$.

Нетрудно заметить, что условие совпадает с критерием Раусса-Гурвица.

Граница устойчивости определяется графически по диаграмме Вышнеградского (рисунок 7). Гипербола построена по уравнению $AB=1$, в котором параметры A и B равны:

$$A = \frac{a_2}{\sqrt[3]{a_3 a_0^2}}, B = \frac{a_1}{\sqrt[3]{a_3^2 a_0}}. \quad (23)$$

Область устойчивости лежит выше и правее гиперболы. Диаграмма дополняется двумя кривыми ЕСФ и DC, уравнения которых приведены ниже:

$$\text{кривая ЕСФ: } A^2 B^2 - 4(A^3 - B^3) + 18AB - 27 = 0,$$

$$\text{кривая DC: } 2A^2 - 9AB + 27 = 0.$$

Кривая ЕСФ симметрична относительно биссектрисы координатного угла и образует зону III, кривая DC - зону II. Остальная область устойчивости, ограниченная гиперболой и кривыми ЕСФ и DC, составляет зону I.

Определив по коэффициентам характеристического уравнения исследуемой системы параметры A и B и изобразив точку с полученными координатами на диаграмме, можно судить о характере переходного процесса в исследуемой системе в соответствии с таблицей 5.

Таблица 5 – Характер переходного процесса

Номер зоны	Корни характеристического уравнения	Характер переходного процесса
1	2 комплексно-сопряжённых и один вещественный	колебательный, затухающий
2	то же	монотонный
3	3 вещественных корня	апериодический

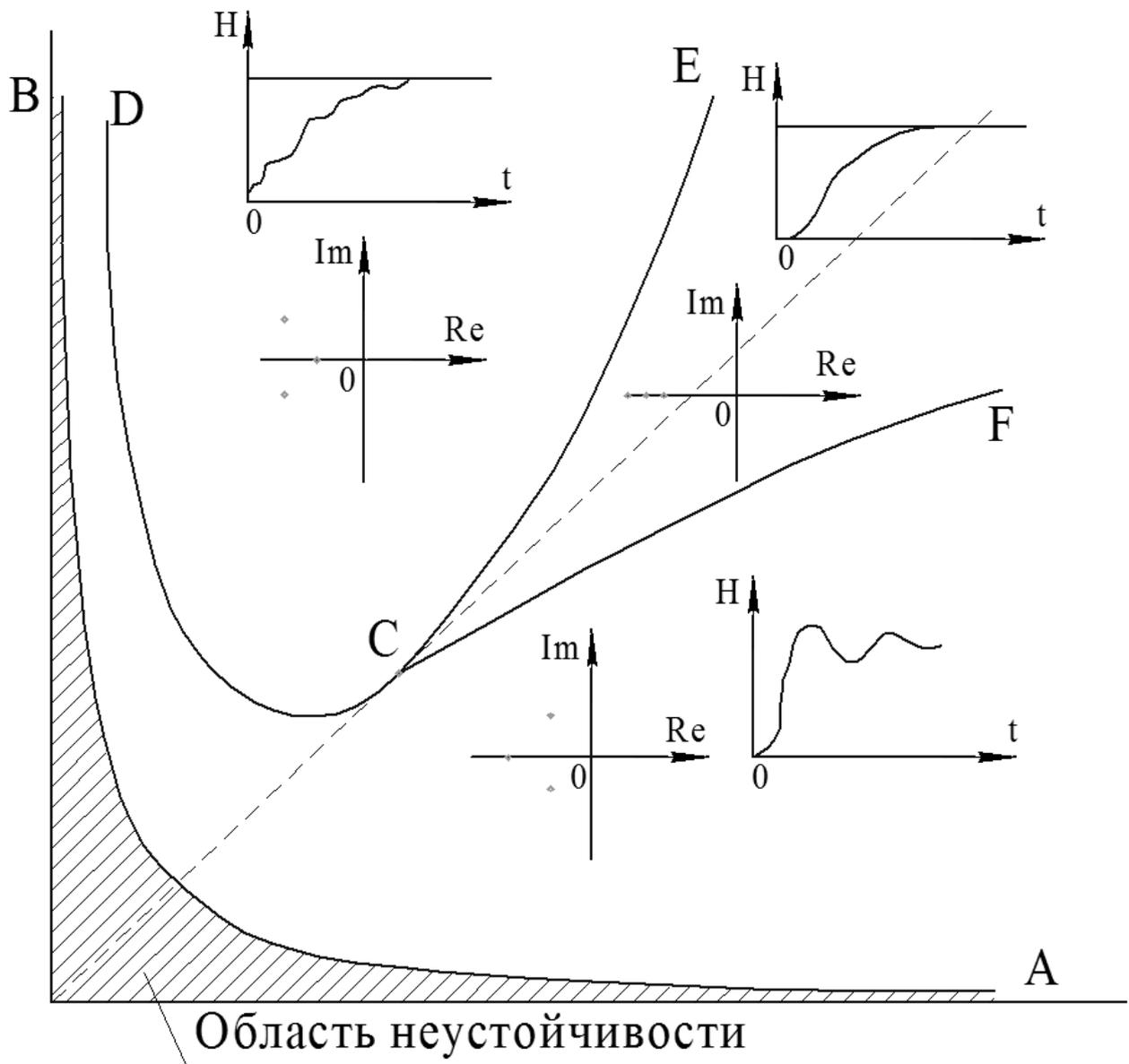


Рисунок 7 – Диаграмма И. А. Вышнеградского

3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПЕРЕДАЧ

Повышение скоростных качеств транспортных машин, их топливной экономичности и уменьшение утомляемости водителя могут быть достигнуты при автоматизации переключения передач. Одним из основных этапов создания таких систем является определение программы (закона) переключения передач. Задачей предусматривается построение закона переключения передач для гидромеханической трансмиссии при движении с разблокированным и заблокированным гидротрансформатором. Все исходные данные берутся из курсового проекта «Тяговый расчёт прямолинейного движения гусеничной машины».

Последовательность построения законов переключения приводится ниже. На характеристику зависимости момента двигателя от частоты вращения его вала наносятся регуляторные ветви при частотной подаче топлива (0,4; 0,6 ... 0,8; 1,0) в соответствии с данными работы [1]. Аналогично строится и характеристика часового расхода топлива, принимая, что на режиме холостого хода он равен $G_{ТХХ} = 0,275G_N$.

На характеристику момента движения наносится момент на насосном колесе гидротрансформатора, приведённого к валу двигателя. Величина момента определяется по формуле

$$M_{нд} = D_a^5 n_d^2 \gamma \lambda_1 (i_{ГТ}) / 3600 U_{сп}^3 \eta_{сп}. \quad (24)$$

Обозначение параметров соответствует работе [5], а их значения приняты в курсовом проекте по дисциплине «Теория движения гусеничных машин».

По пересечению регуляторных ветвей характеристик двигателя и гидротрансформатора (рисунок 8) строится выходная характеристика системы «двигатель - гидротрансформатор» (рисунок 9), на основе полученных данных строятся тяговые и топливные характеристики на смежных передачах, например на II и III, как показано на рисунке 10. По точкам переключения экономических характеристик определяется закон переключения (линия 1 на рисунке 11), обеспечивающий минимальный расход топлива. Закон переключения по максимальной силе тяги (линия 2 на рисунке 11) обеспечивает высокие динамические качества, равенство сил тяги до и после переключения передач. С целью исключения цикличности переключения необходимо предусмотреть перекрытие передач («раздвижку» скоростей), которое характеризуется коэффициентом перекрытия $K = V_H / V_B = 0,85...0,94$ (линии 3 и 4 на рисунке 11).

Переключение передач по установленным законами обеспечивает полное использование тяговых возможностей машины и минимальный удельный расход топлива.

Для определения законов переключения на других передачах (1 и 2, 3 и 4) необходимо установленные зависимости (линии 3 и 4 на рисунке 11) привести к частоте вращения турбины n_t . В этом случае переключение всех передач

осуществляется по единому закону - функции положения педали подачи топлива от частоты вращения турбинного колеса.

Аналогично по тяговым и топливным характеристиками строятся законы блокировки и разблокировки гидротрансформатора. Анализ показывает, что движение с заблокированным гидротрансформатором во всех случаях обеспечивает меньший удельный расход топлива по сравнению с разблокированным. Поэтому закон блокировки строится из условий обеспечения высоких динамических качеств. Для исключения цикличности раздвижка частоты вращения турбины принимается в пределах ± 150 об/мин.

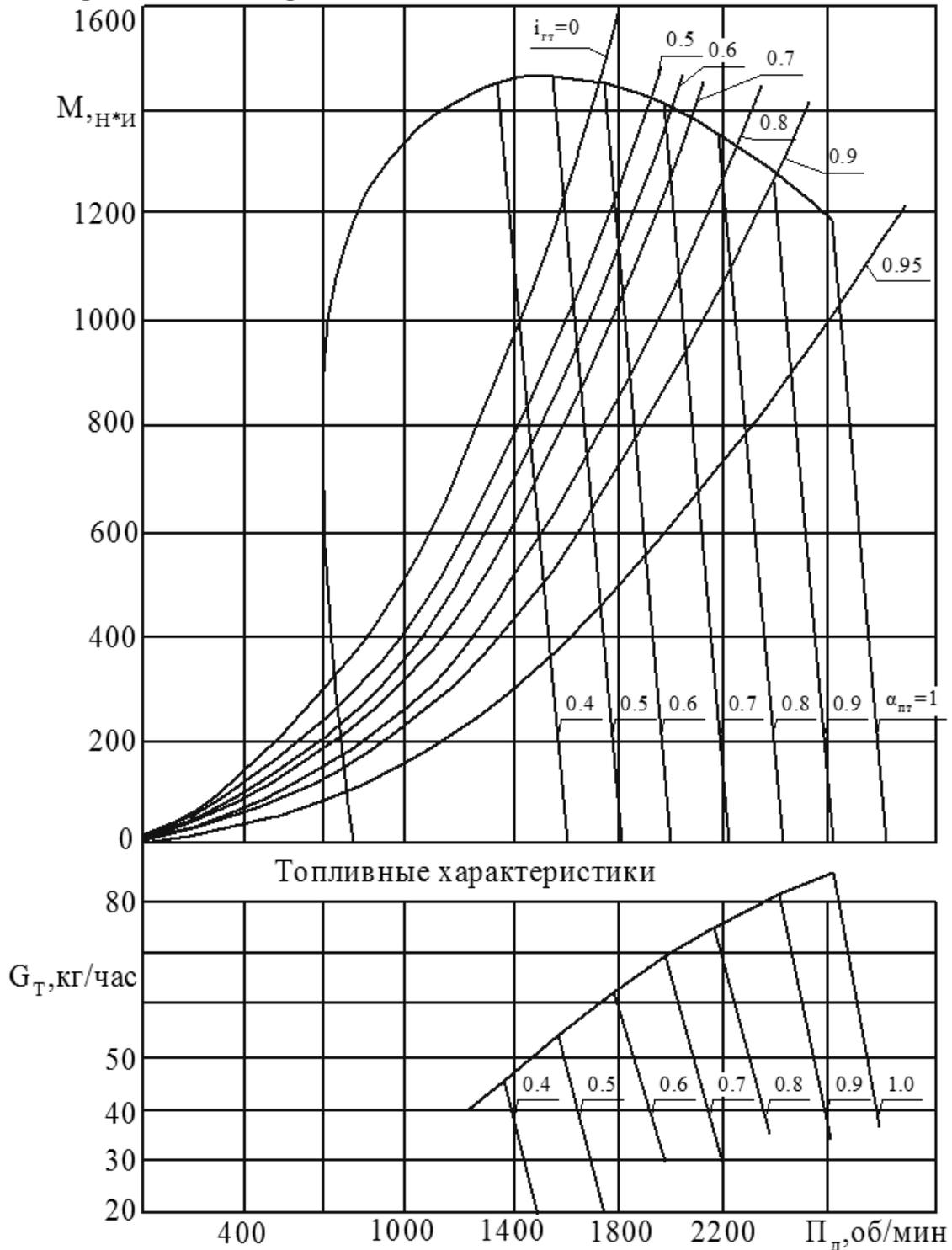


Рисунок 8 – Совмещение характеристик дизельного двигателя и ГТК

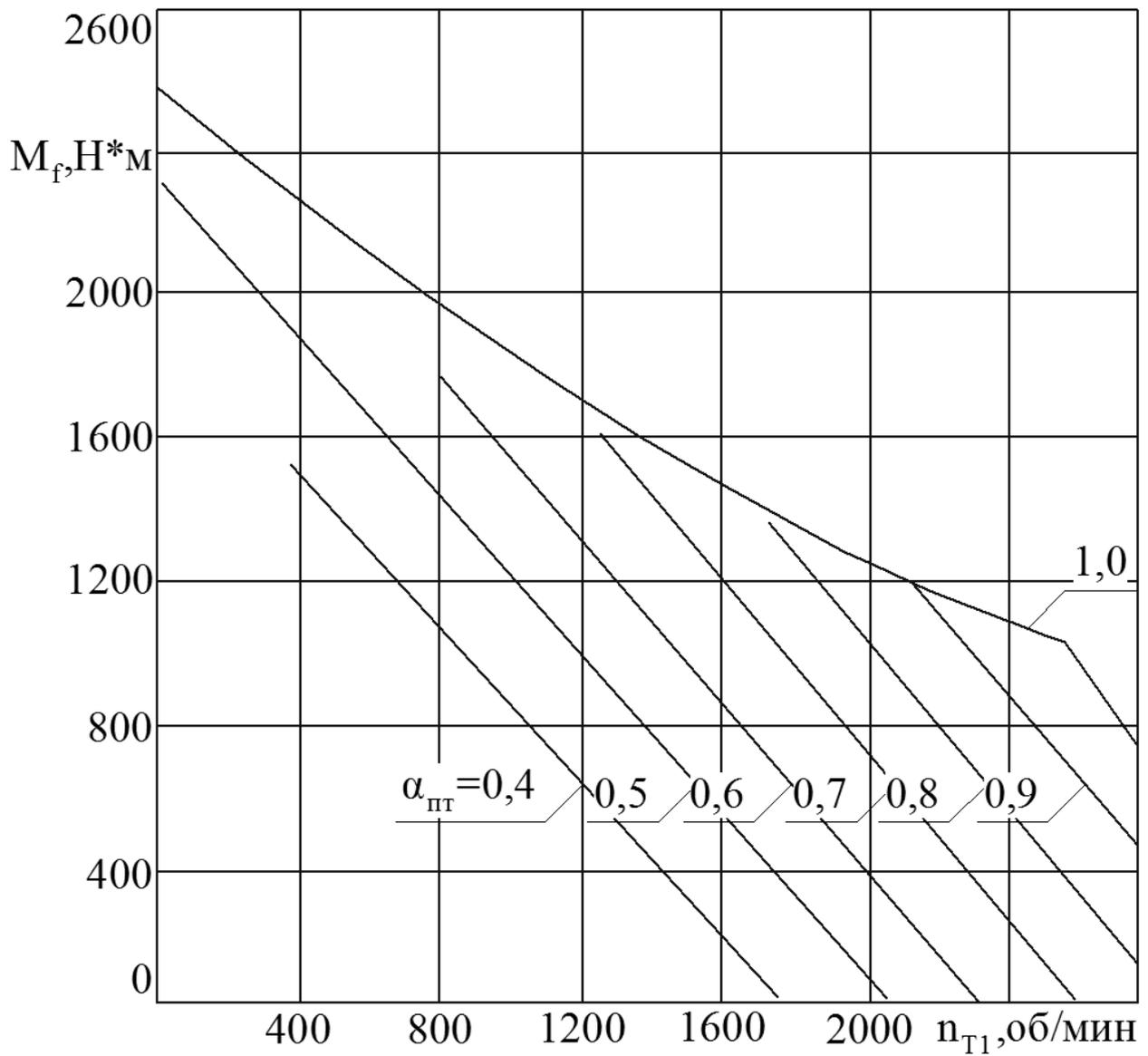


Рисунок 9 – Выходная характеристика системы «двигатель – ГТК»

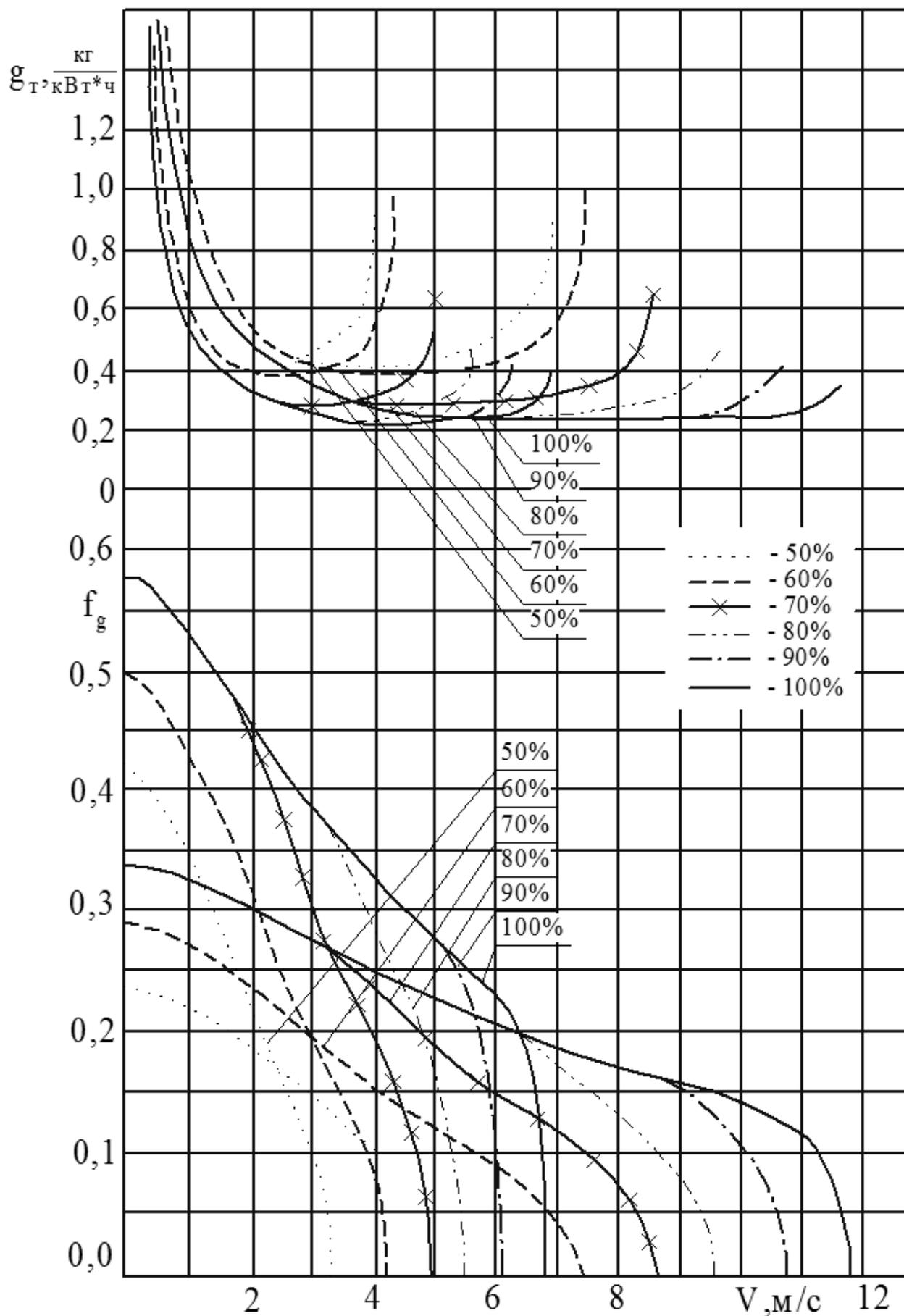


Рисунок 10 – Топливные и тяговые характеристики при движении на II и на III передачах

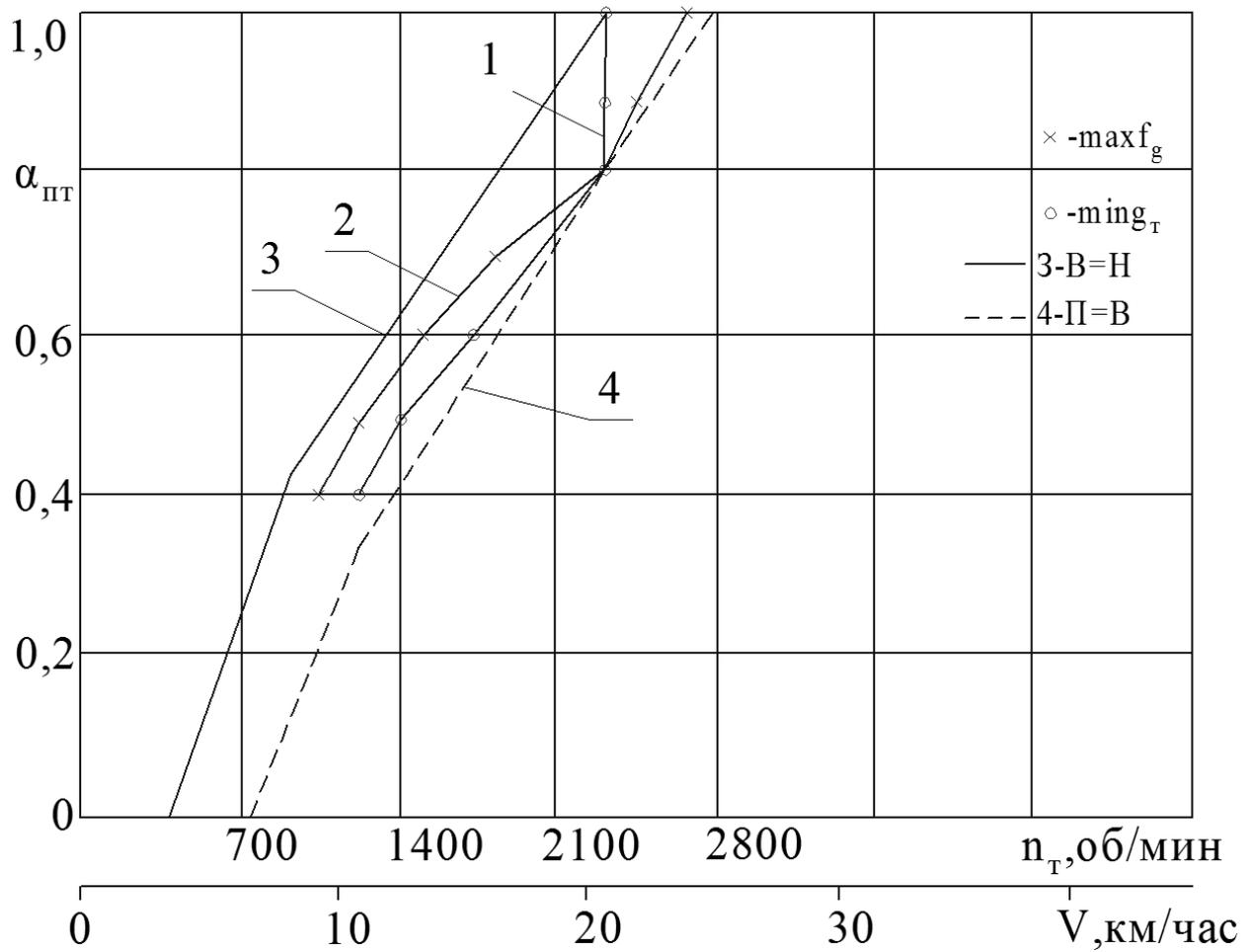


Рисунок 11 – Закон автоматического переключения передач

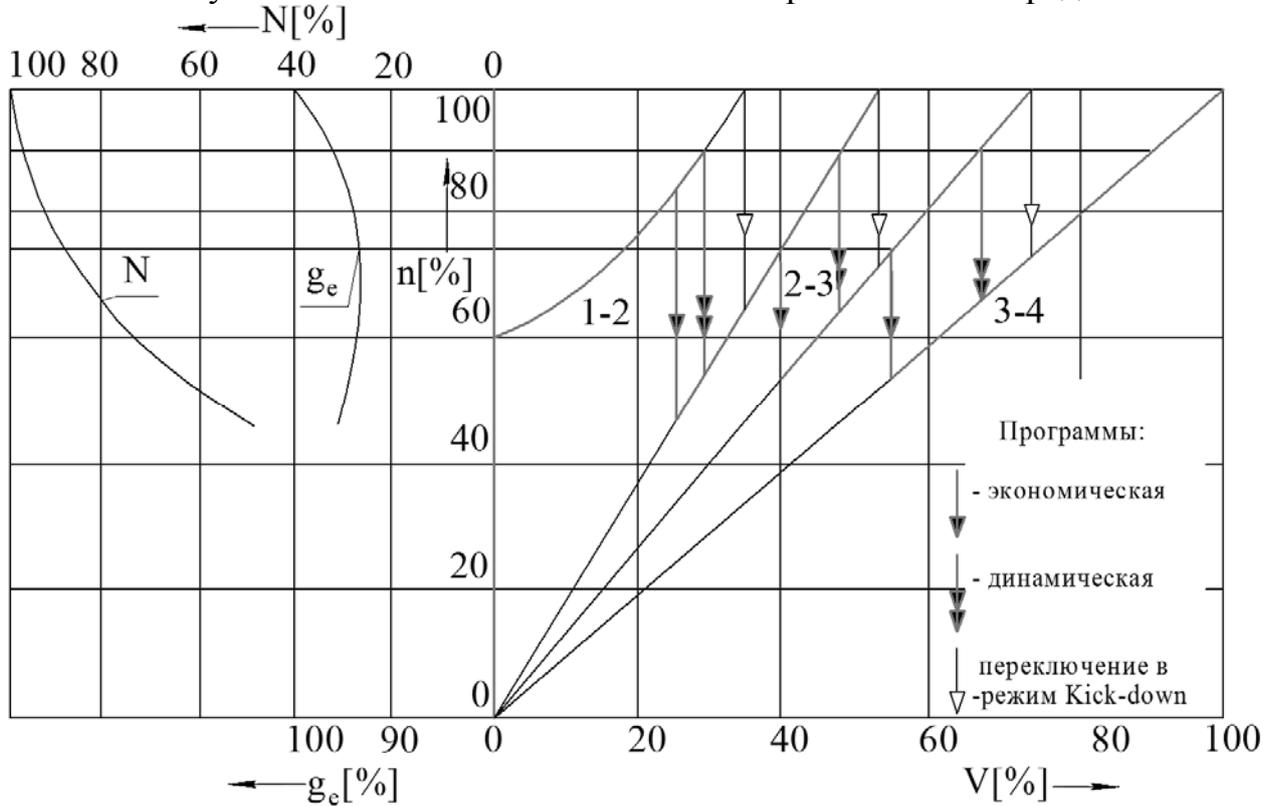


Рисунок 12 – Закон переключения передач механической трансмиссии

В конструкциях машин, в которых гидротрансформатор используется лишь при трогании с места и в процессе переключения передач, перекрытие скоростей движения машины на смежных передачах не существенно. Поэтому закон переключения передач целесообразно строить по лучевой диаграмме скоростей в координатах - частота вращения вала двигателя, n - скорость движения машины V , как показано на рисунке 12. При разгоне машины на определённой передаче движение происходит до достижения частоты вращения вала двигателя, соответствующей экономической или динамической программе управления. Экономическая программа обеспечивается при частоте вращения двигателя 75% режима максимальной мощности n_N на всех передачах, кроме первой, на которой эта величина составляет 85% n_N . Динамическая программа обеспечивается при переключении на частоте вращения 90% n_N . Задержка переключения вверх, т.е. возможность двигаться с большим ускорением может осуществляться специальным устройством Kick-down. Это позволяет в некоторой степени форсировать двигатель при перемещении («передавливании») педали подачи топлива за 100% величину.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Благодравов А.А., Держанский В.Б. Динамика управляемого движения гусеничной машины. Курган: Изд-во КМИ, 1995. 162 с.
- 2 Петров В.А. Автоматические системы транспортных машин. М.: Машиностроение, 1974. 336 с.
- 3 Проспекты фирмы Zahnradfabrik. ECOMAT - Getriebe. Schtuttgart, 2012. 36s.
- 4 Проспекты фирмы Voith. Technisches Handbuch DIWA - Getriebe. Munchen, 2008. 29s.
- 5 Держанский В.Б., Тараторкин И.А. Тяговый расчёт прямолинейного движения гусеничной машины: методические указания к выполнению курсового проекта для студентов специальности 190202 – «Многоцелевые гусеничные и колёсные машины». Курган: Изд-во КГУ, 2006. 44 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.....	3
2 РАСЧЁТ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ.....	3
2.1 Амплитудно-фазовые частотные характеристики линейных элементов.....	3
2.2 Влияние обратных связей на качество переходных процессов.....	8
2.3 Определение устойчивости систем автоматического управления по алгебраическим критериям.....	12
3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПЕРЕДАЧ.....	15
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	21

Держанский Виктор Борисович
Карпов Егор Константинович

**ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕМЕНТОВ
СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

Методические указания
к выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Управление техническими системами»
для студентов специальности 190202.65

Редактор А. С. Мокина

Подписано в печать 18.06.13	Формат 60x84 1/16	Бумага тип. №1
Печать трафаретная	Усл. печ. л. 1,5	Уч.-изд. л. 1,5
Заказ 110	Тираж 25	Цена свободная

Редакционно-издательский центр КГУ.
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.
Курганский государственный университет.