



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(национальный исследовательский университет)»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

на тему:

«Исследование характеристик эшелонированного крейсерского полета
транспортного самолета»

Автор квалификационной работы:

студент гр.М1О-403Б-18

Москвитин Андрей Семенович

Руководитель:

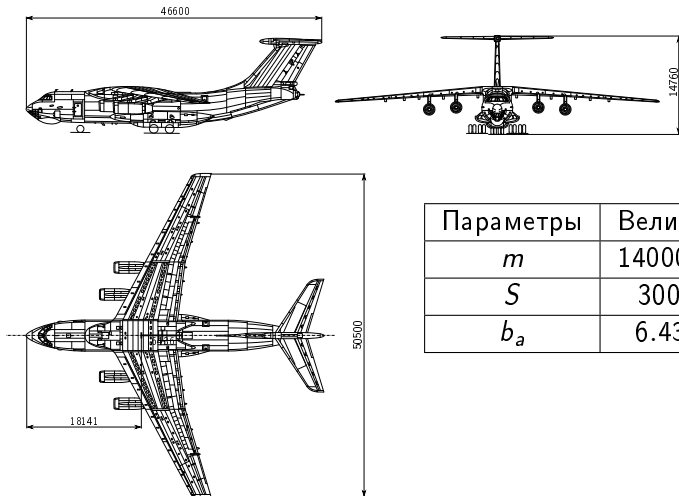
к.т.н., доцент кафедры 106

Мальцев Юрий Иванович

Задачи

- Расчет основных летно-технических характеристик, взлетно-посадочных характеристик, транспортные возможности, характеристики маневренности, характеристик продольной устойчивости и управляемости
- Синтезировать систему автоматической стабилизации высоты
- Исследовать характеристики самолета при выполнении эшелонированного полета

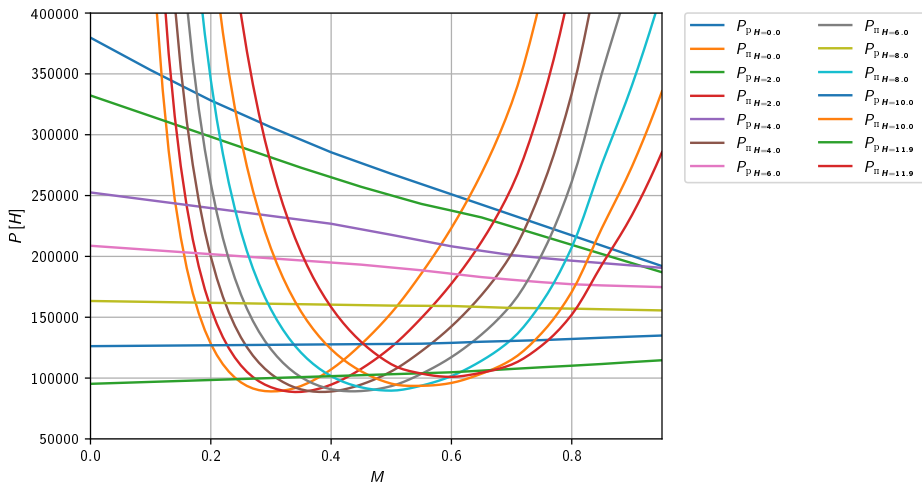
Прототип транспортного самолета Ил-76



Параметры	Величина
m	140000 КГ
S	300 М ²
b_a	6.436М

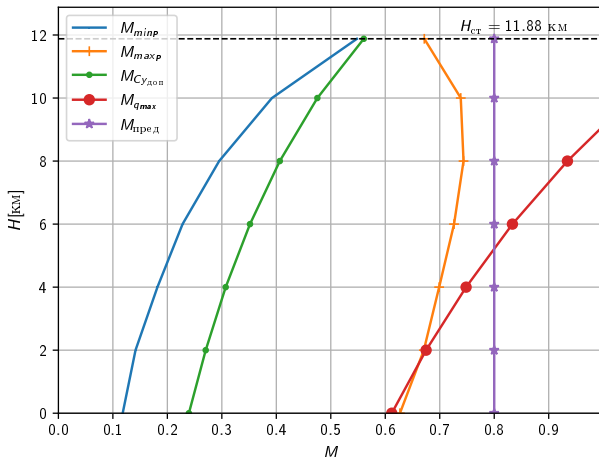
Расчет летно-технических характеристик

Кривые потребных и располагаемых тяг



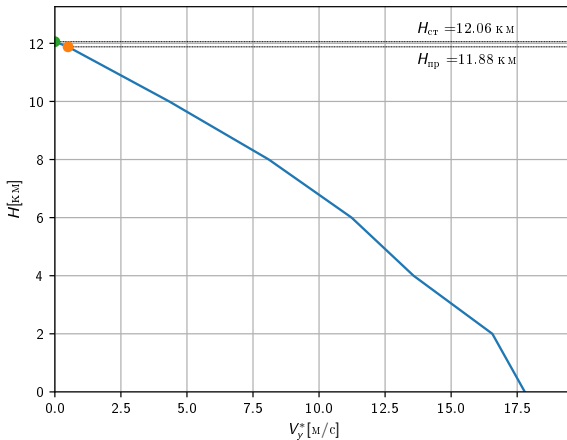
Расчет летно-технических характеристик

Диапазон высот и скоростей полета



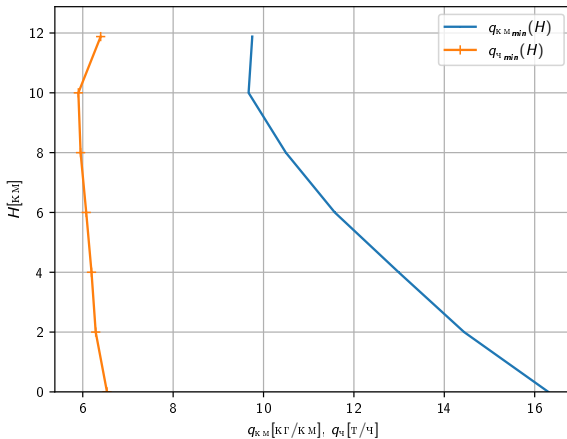
Расчет летно-технических характеристик

Значения статического и практического потолка



Расчет летно-технических характеристик

Значения километрового и часового расхода для массы 140 т.



Расчет траектории полета

Параметры в наборе высоты:

$m_{T_{\text{наб}}}$	$L_{\text{наб}}$	$t_{\text{наб}}$
кг	км	мин
3669.9	175.7	18.3

Параметры крейсерского полета:

$T_{\text{кр}}$	$L_{\text{кр}}$	$\rho H_{\text{кр}}$	$H_0 \text{ кр}$	$H_{\text{к кр}}$
мин	км	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	км	км
331.28	3215.0	0.3158	11	11.9

Параметры при снижении высоты:

$m_{T_{\text{сн}}}$	$L_{\text{сн}}$	$t_{\text{сн}}$
кг	км	мин
430.1	197.4	19.7

Расчет траектории полета

Профиль полета:

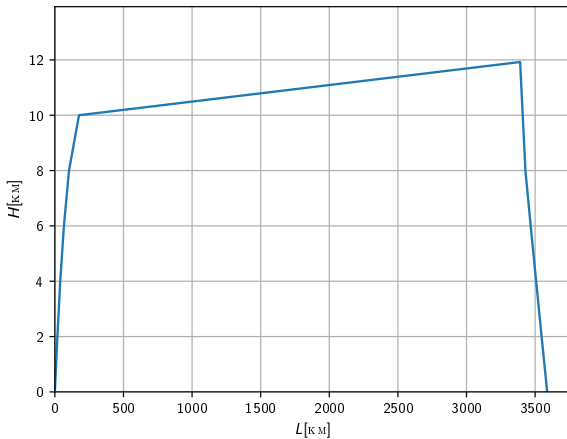
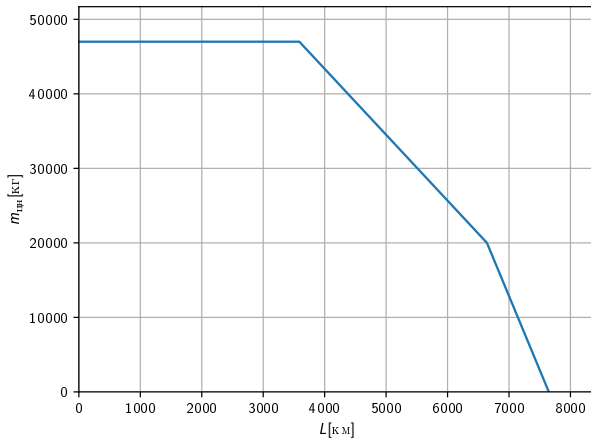


Диаграмма транспортных возможностей

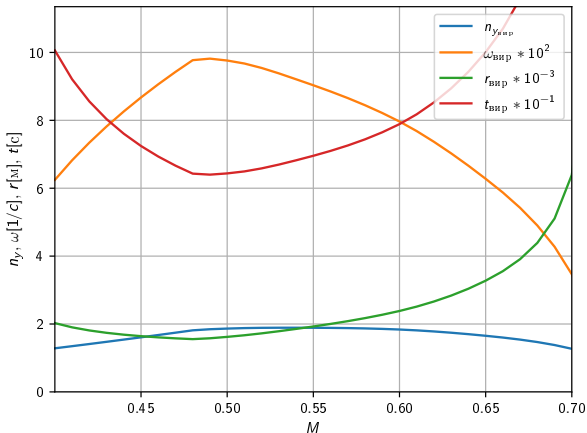


Взлетно-посадочные характеристики

Основные параметры взлета и посадки:

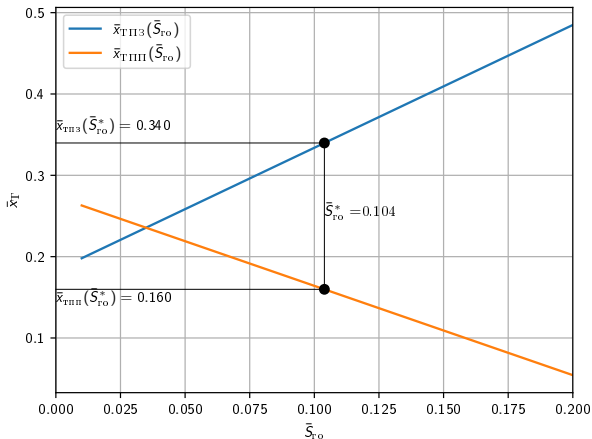
$V_{отр}$	L_p	$L_{вд}$	$V_{кас}$	$L_{проб}$	$L_{пд}$
$\frac{м}{с}$	м	м	$\frac{м}{с}$	м	м
90.0	1830.0	2289.0	64.0	790.0	1384.0

Зависимость различных параметров виража



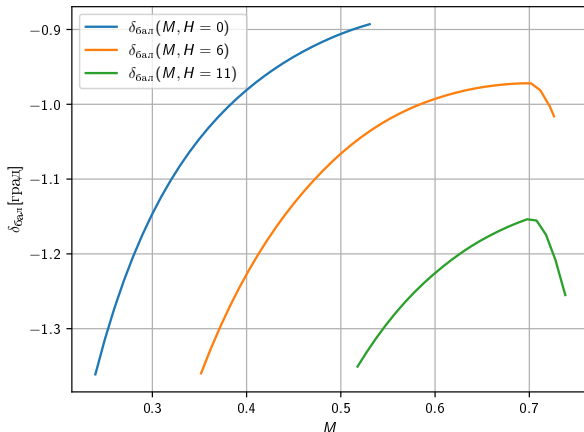
Характеристики продольной статической устойчивости и управляемости

Определение \bar{S}_{ro}^*



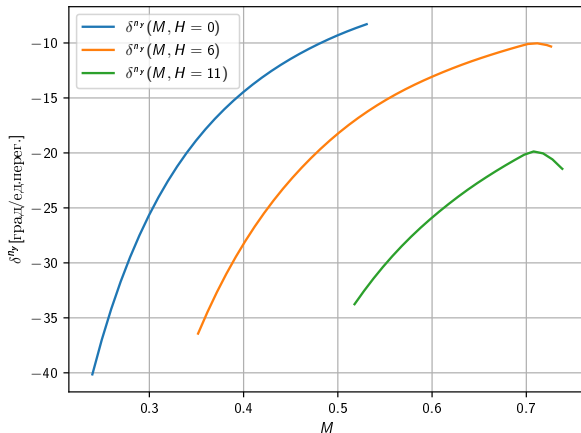
Характеристики продольной статической устойчивости и управляемости

Балансировочная диаграмма в полетной конфигурации



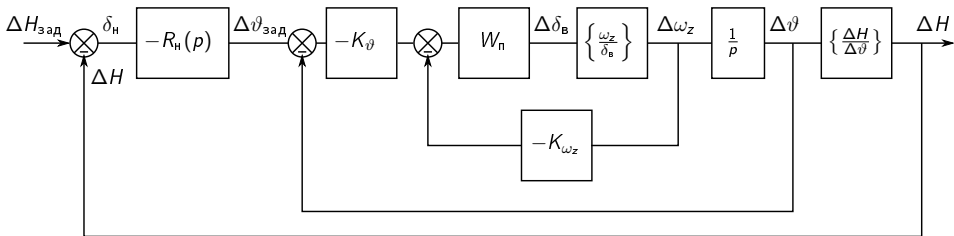
Характеристики продольной статической устойчивости и управляемости

δ_B^{ny} при $\bar{x} = 0.25$



Синтез системы автоматической стабилизации высоты

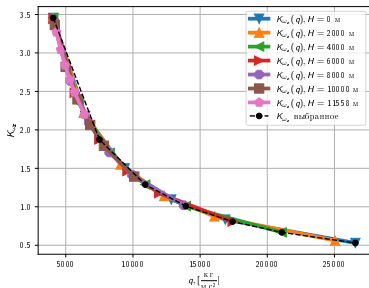
Структурная схема стабилизации высоты в тангажном варианте:



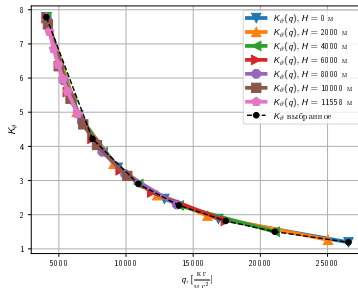
Синтез системы автоматической стабилизации высоты

Выбранные коэффициенты обратных связей для контура стабилизации тангажа:

Для регулятора K_{ω_z}



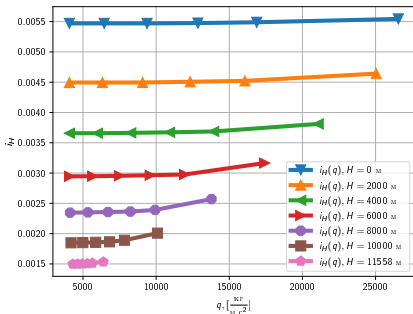
Для регулятора K_{ϑ}



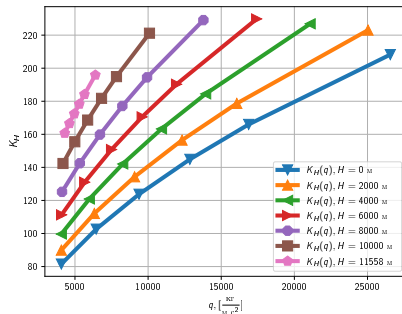
Синтез системы автоматической стабилизации высоты

Выбранные коэффициенты обратных связей для контура стабилизации высоты:

Для регулятора i_H



Для регулятора K_H

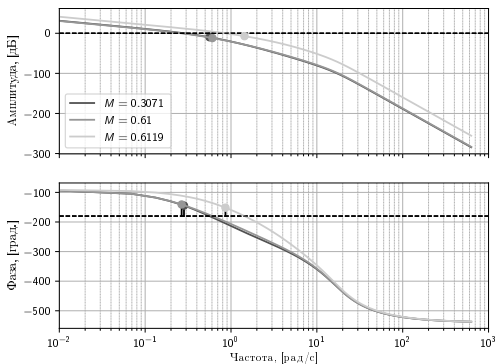


Синтез системы автоматической стабилизации высоты

Частотный анализ

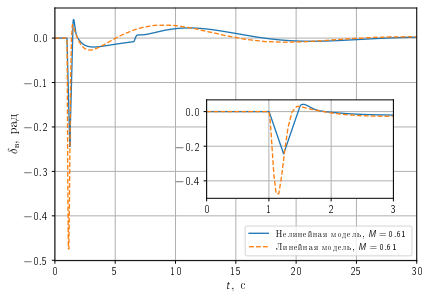
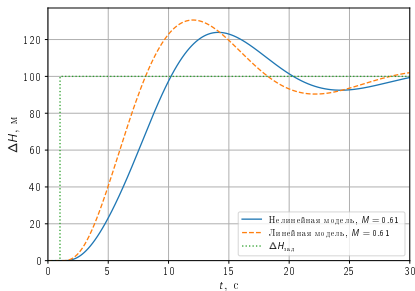
ЛАФЧХ для разомкнутого контура стабилизации высоты при:

$$q_{min} \Rightarrow M = 0.3071, \quad q_{max} \Rightarrow M = 0.6119, \quad q_{кр} \Rightarrow M = 0.61.$$



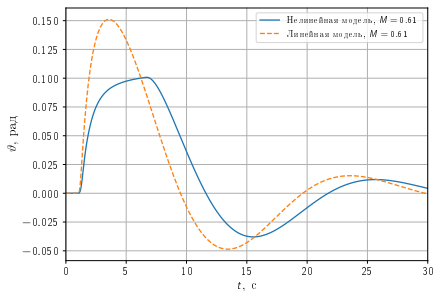
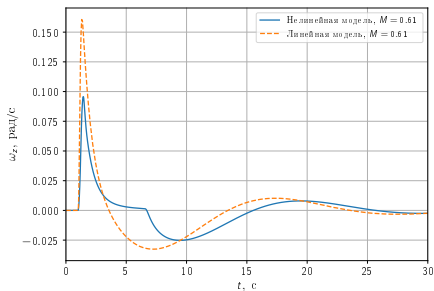
Нелинейное, линейное моделирование системы

Сравнение переходных процессов линейной и нелинейной модели.



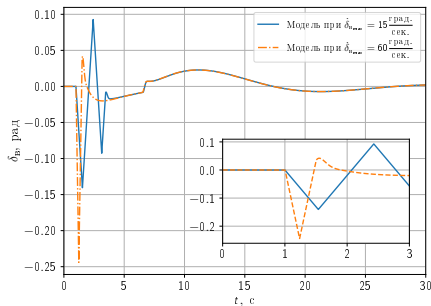
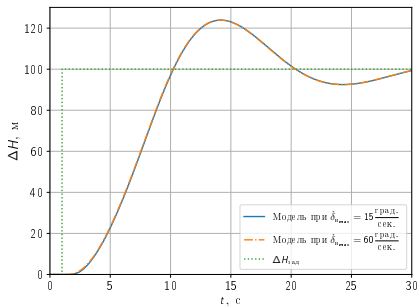
Нелинейное, линейное моделирование системы

Сравнение переходных процессов линейной и нелинейной модели.



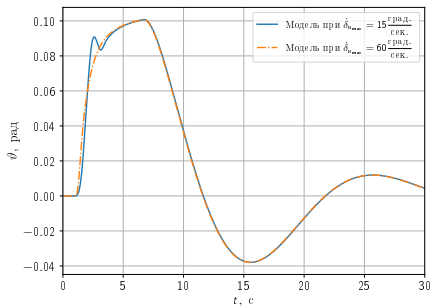
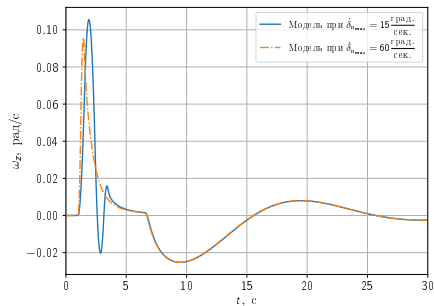
Нелинейное, линейное моделирование системы

Сравнение переходных процессов при различных скоростях отклонения привода.



Нелинейное, линейное моделирование системы

Сравнение переходных процессов при различных скоростях отклонения привода.



Исследования характеристик при выполнении эшелонирования

Рассмотрим такие варианты полета:

- 1 При постоянной высоте и оптимальной скорости полета
- 2 При оптимальном изменении высоты и скорости полета
- 3 Эшелонированный полет с изменением высоты с шагом 300 м.

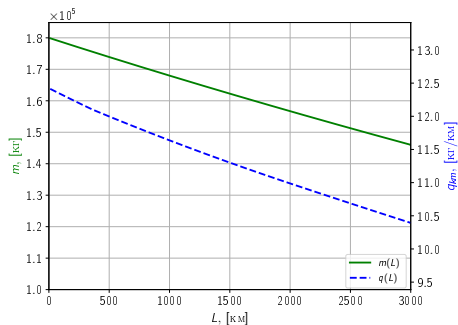
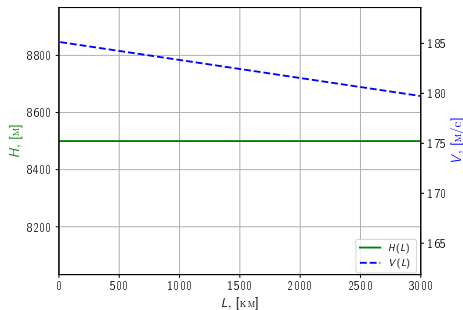
Исследования характеристик при выполнении эшелонирования

Таблица параметров крейсерского полета:

m, тонн		H, м							
		8000	8500	9000	9500	10000	10500	11000	11500
100.0	M	0.489	0.5	0.506	0.522	0.538	0.552	0.559	0.585
	q _{km}	8.38	8.114	7.881	7.666	7.46	7.225	6.619	6.578
	V	150.663	152.992	153.747	157.486	161.148	164.137	164.991	172.616
110.0	M	0.5	0.516	0.532	0.549	0.562	0.583	0.581	0.6
	q _{km}	8.862	8.61	8.371	8.143	7.929	7.674	7.182	7.161
	V	154.053	157.888	161.647	165.632	168.337	173.355	171.484	177.042
120.0	M	0.524	0.54	0.554	0.573	0.571	0.591	0.6	0.6
	q _{km}	9.348	9.084	8.834	8.598	8.401	8.236	7.784	7.812
	V	161.447	165.231	168.332	172.873	171.033	175.734	177.092	177.042
130.0	M	0.547	0.563	0.56	0.578	0.596	0.6	0.6	0.6
	q _{km}	9.807	9.533	9.293	9.127	8.983	8.825	8.452	8.549
	V	168.534	172.269	170.155	174.381	178.521	178.41	177.092	177.042
140.0	M	0.552	0.565	0.582	0.6	0.6	0.6	0.6	0.605
	q _{km}	10.259	10.049	9.863	9.7	9.576	9.472	9.36	9.534
	V	170.074	172.881	176.84	181.018	179.719	178.41	177.092	178.517
150.0	M	0.569	0.586	0.6	0.6	0.6	0.6	0.606	-
	q _{km}	10.818	10.61	10.427	10.292	10.226	10.276	10.379	-
	V	175.312	179.307	182.309	181.018	179.719	178.41	178.863	-
160.0	M	0.588	0.6	0.6	0.6	0.6	0.619	-	-
	q _{km}	11.369	11.165	11.016	10.949	11.026	11.138	-	-
	V	181.166	183.59	182.309	181.018	179.719	184.06	-	-
170.0	M	0.6	0.6	0.6	0.6	0.619	-	-	-
	q _{km}	11.917	11.75	11.678	11.741	11.881	-	-	-
	V	184.863	183.59	182.309	181.018	185.41	-	-	-
180.0	M	0.6	0.6	0.6	0.615	-	-	-	-
	q _{km}	12.495	12.413	12.459	12.587	-	-	-	-
	V	184.863	183.59	182.309	185.544	-	-	-	-
190.0	M	0.6	0.6	0.61	-	-	-	-	-
	q _{km}	13.159	13.181	13.294	-	-	-	-	-
	V	184.863	183.59	185.347	-	-	-	-	-

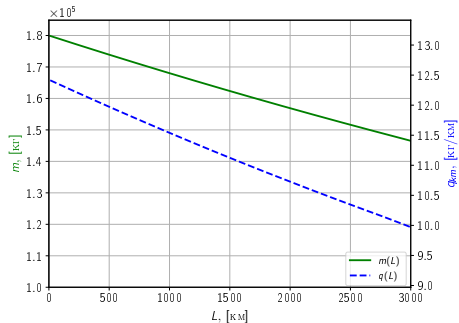
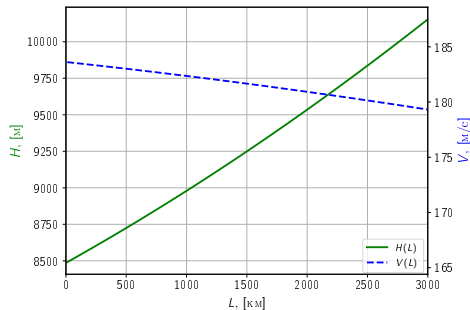
Исследования характеристик при выполнении эшелонирования

Изменения характеристик при постоянной высоте и оптимальной скорости полета:



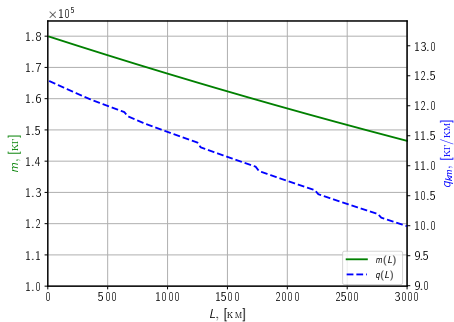
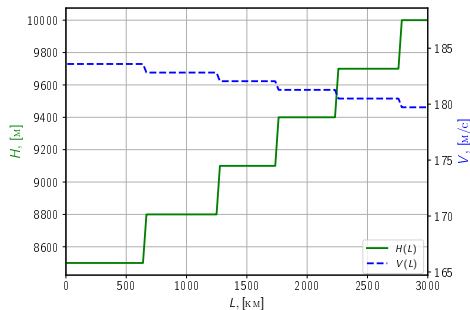
Исследования характеристик при выполнении эшелонирования

Изменения характеристик при оптимальном изменении высоты и оптимальной скорости полета:



Исследования характеристик при выполнении эшелонирования

Изменения характеристик при эшелонированном полете:



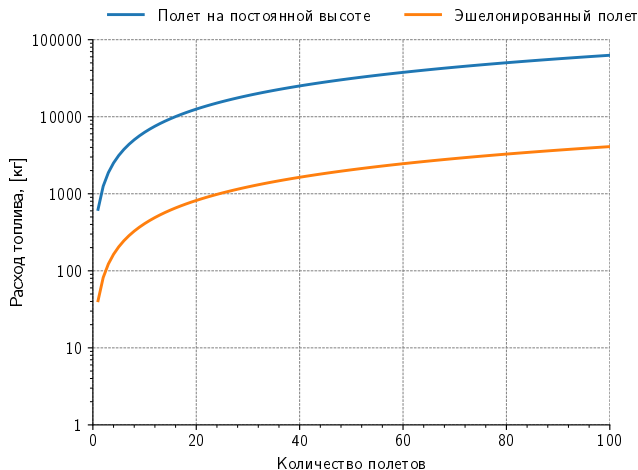
Исследования характеристик при выполнении эшелонирования

Сравнение израсходованного топлива и времени полета по сравнению с оптимальной траекторией

Режим	$m_{\text{изр}}, \%$	$T, \%$
Полет по оптимальной траектории	100	100
Полет на $H = 8500$ м	101.87	99.69
Полет эшелонированный полет $\Delta H = 300$ м	100.12	99.75

Исследования характеристик при выполнении эшелонирования

Зависимость расхода топлива от количества полетов



Заключение

- В данной работе мы определили основные летно-технические характеристики, область располагаемых высот и скоростей полета, практический и статические потолок, взлетно-посадочные характеристики, параметры правильного виража, характеристики продольной устойчивости и управляемости.
- Синтезировали систему стабилизации высоты в тангажном варианте.
- Также провели исследование характеристик эшелонированного полета из которого следует, экономически целесообразно проводить эшелонированный полет. Выигрыш в топливе по сравнению с полетом на постоянной высоте в нашем случае составляет порядка 1.8 %.